ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

«Μελέτη και σχεδίαση επιβατηγού-οχηματαγωγού πλοίου μεσαίου μεγέθους, τύπου Catamaran»

Διπλωματική Εργασία

Γεώργιος Π. Μιχαλάκος

Μέλη τριμελούς εξεταστικής επιτροπής:
Γεώργιος Ζαραφωνίτης (Αν. Καθηγητής ΕΜΠ, επιβλέπων)
Απόστολος Δ. Παπανικολάου (Καθηγητής ΕΜΠ)
Γεώργιος Δ. Τζαμπίρας (Καθηγητής ΕΜΠ)

ΑΘΗΝΑ, Ιούνιος 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το κείμενο αυτό αποτελεί τη διπλωματική εργασία που εκπονήθηκε στα πλαίσια της φοίτησης μου στη Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών. Επιστημονικός υπεύθυνος της διπλωματικής αυτής, ήταν ο αναπληρωτής καθηγητής της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Γ. Ζαραφωνίτης. Αντικείμενο της είναι η προκαταρκτική μελέτη και σχεδίαση ενός δίγαστρου επιβατηγού-οχηματαγωγού πλοίου. Αδιαμφισβήτητα, τα δίγαστρα πλοία αποτελούν μια δοκιμασμένη λύση στο χώρο των επιβατηγών-οχηματαγωγών, έχοντας ως πρώτο παράδειγμα την ύπαρξή τους στον ελλαδικό χώρο, για την εξυπηρέτηση της ελληνικής ακτοπλοίας. Το υπό μελέτη πλοίο όμως, θα έχει μια κύρια διαφορά από τα υπάρχοντα δίγαστρα πλοία. Ενώ τα τελευταία είναι ταχύπλοα και κινούνται σε αριθμούς Froude 0,6-0,7, το υπό μελέτη πλοίο θα κινείται σε αριθμούς Froude 0,3-0,4. Το γεγονός αυτό αναμένεται να επιφέρει μείωση στην απαίτηση ισχύος πρόωσης του πλοίου, αλλά και αλλαγές στο υλικό κατασκευής του, καθώς δεν είναι πλέον αναγκαίο να κατασκευαστεί από αλουμίνιο ώστε να είναι ελαφρύ και δύναται να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του εξ' ολοκλήρου ναυπηγικός χάλυβας υψηλής αντοχής, οδηγώντας μας σε μια πιο οικονομική κατασκευή. Κατά την πορεία της μελέτης, αρχικά έγινε ενασχόληση με την κατασκευή του σχεδίου Γενικής Διάταξης και τον προσδιορισμό όλων των απαραίτητων χώρων του πλοίου. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε προκαταρκτική μελέτη αντοχής, απ' όπου προέκυψε το Σχέδιο Μέσης Τομής (Midship Section) και το σχέδιο καταστρωμάτων (Profile&Decks), προκειμένου να γίνει μια πρώτη εκτίμηση του βάρους της μεταλλικής κατασκευής. Επίσης, έγινε και ο προκαταρκτικός υπολογισμός των υπόλοιπων βαρών που συνθέτουν το υπό μελέτη πλοίο. Στη συνέχεια, καταστρώνονται οι καταστάσεις φόρτωσης που αντιστοιχούν στη διαδρομή που επιλέχθηκε να ακολουθεί το πλοίο. Τέλος, γίνεται μια σύγκριση με υφιστάμενο μονόγαστρο επιβατηγό-οχηματαγωγό πλοίο παρόμοιας μεταφορικής ικανότητας σε επιβάτες και οχήματα, από την οποία εξάγεται ένα πρώτο αποτέλεσμα για τη βιωσιμότητά του στη ναυτιλιακή αγορά. Για την μελέτη της αντίστασης και κατ' επέκταση του προσδιορισμού της ισχύος πρόωσης, έγινε χρήση των αποτελεσμάτων άλλων διπλωματικών εργασιών, αντικείμενο των οποίων ήταν η μελέτη της αντίστασης δίγαστρων πειραματικών προτύπων στη δεξαμενή της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ix
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ 11
2. ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ 15
3. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΓΕΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ 25
3.1. Κατώτερα Καταστρώματα 27
3.2. Καταστρώματα Οχημάτων 34
3.3. Καταστρώματα Επιβατών 40
4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ 49
4.1. Υπολογισμός ελασμάτων και δευτερευόντων διαμήκων ενισχυτικών 50
4.2. Κύρια Κατασκευαστικά Στοιχεία 54
4.3. Συνολικό βάρος 62
5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΡΟΥΣ ΚΕΝΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ (LS) 63
5.1. Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής (Wst) 64
5.2. Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης (W_M) 65
5.3. Βάρος Εξοπλισμού (W_{OT}) 68
5.4. Βάρος Ενδιαίτησης (Wacc) 73
5.5. Βάρος Κενού Σκάφους (W_{LS}) 80
6. ΑΝΑΛΥΣΗ DWT 81
7. ΑΛΛΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ 89
7.1. Καταμέτρηση 89
7.2. Σύνθεση Πληρώματος 91
7.3. Δείκτης Εξαρτισμού (Equipment Number) 93
7.4. Γραμμή Φόρτωσης 95
8. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ AVEVA 99
8.1. AVEVA Lines 99
8.2. AVEVA Surface & Compartment 100
8.3. AVEVA Hydrostatics & Hydrodynamics 102
9. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ 109
9.1. Μέθοδος Hughes 111
9.2. Επιλογή Κύριας Μηχανής 116
10. ΣΥΓΚΡΙΣΗ 131
11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 137
12. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 138

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 139
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ''Α'' 143
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ''Β'' 144
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ''Γ'' 145
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ''Δ'' 146
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ''Ε'' 157
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ''Ζ'' 163

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Κύρια χαρακτηριστικά του 'Blue Star Ithaki' 15
Πίνακας 2.2: Δοκιμές Αριθμού Lanes..... 18
Πίνακας 2.3: Κύρια Χαρακτηριστικά Προτύπου 20
Πίνακας 2.4: Υδροστατικά Στοιχεία Μοντέλου 20
Πίνακας 2.5: Τελικές Διαστάσεις υπό Μελέτη Πλοίου 23
Πίνακας 3.1: Κύριες Κατακόρυφες Ζώνες 40
Πίνακας 4.1: Αποτελέσματα Εφαρμογής Marspeed 53
Πίνακας 4.2: Ελάχιστες Απαιτήσεις Νηογνώμονα..... 56
Πίνακας 4.3: Τελικά Κατασκευαστικά Στοιχεία 57
Πίνακας 4.4: Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής..... 62
Πίνακας 5.1: Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής..... 64
Πίνακας 5.2: Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης 67
Πίνακας 5.3: Παροχές Αέρα ανά Χώρο και Επίπεδο Άνεσης 69
Πίνακας 5.4: Βάρη Υποομάδων Κλιματισμού 70
Πίνακας 5.5: Εμβαδόν Καταστρωμάτων 70
Πίνακας 5.6: Βάρη Εξοπλισμού 72
Πίνακας 5.7: Συντελεστές Βαρών Χώρων Ενδιαίτησης..... 73
Πίνακας 5.8: Συντελεστές Βαρών Κυλιόμενων Κλιμάκων και Ανελκυστήρων..... 73
Πίνακας 5.9: Βάρη Χώρων Ενδιαίτησης 74
Πίνακας 5.10: Βάρη Ενδιαίτησης 1st Passenger Deck 76
Πίνακας 5.11: Βάρη Ενδιαίτησης 2nd Passenger Deck..... 77
Πίνακας 5.12: Βάρος κυλιόμενων κλιμάκων και ανελκυστήρων 78
Πίνακας 5.13: Συνολικό Βάρος Ενδιαίτησης 79
Πίνακας 5.14: Συνολικό Βάρος Κενού Σκάφους 80
Πίνακας 6.1: Υποκατηγορίες του Deadweight 81
Πίνακας 6.2: Αποστάσεις και Διάρκεια Δρομολογίου 82
Πίνακας 6.3: Κέντρο Βάρους Οχημάτων 87
Πίνακας 6.4: Βάρη Deadweight 88
Πίνακας 7.1: Συνολικό Πλήρωμα 92
Πίνακας 7.2: Δείκτης Εξαρτισμού 94
Πίνακας 7.3: Κανονική Σιμότητα..... 96
Πίνακας 8.1: Αποτελέσματα Άθικτης Ευστάθειας Καταστάσεων Φόρτωσης..... 105
Πίνακας 8.2: Αποτελέσματα Ευστάθειας Μετά από βλάβη – Έλεγχος με τα κριτήρια του HSCC 107
Πίνακας 8.3: Αποτελέσματα Ευστάθειας Μετά από βλάβη – Έλεγχος με τα κριτήρια της SOLAS 90 108
Πίνακας 9.1: Υδροστατικά Στοιχεία Μοντέλου 109
Πίνακας 9.2: Στοιχεία Υπό Μελέτη Πλοίου 110
Πίνακας 9.3: Αποτελέσματα Δοκιμών – Κατάσταση A_3 110
Πίνακας 9.4: Υπολογισμός Συντελεστή C_W Μοντέλου..... 112
Πίνακας 9.5: Υπολογισμός Συντελεστή C_T Υπό Μελέτη Πλοίου..... 113

Πίνακας 9.6: Τελική Προκύπτουσα Αντίσταση & Απαιτούμενη Ισχύς Ρυμούλκησης Γυμνής Γάστρας 114
Πίνακας 9.7: Τελική προκύπτουσα αντίσταση & Απαιτούμενη Ισχύς Ρυμούλκησης Γυμνής Γάστρας για τη μια Ημιγάστρα του πλοίου 115
Πίνακας 9.8: Υπολογισμός Τελικής Απαιτούμενης Εγκατεστημένης Ισχύος 122
Πίνακας 9.9: Αντίσταση Ρυμούλκησης – Καθαρή Γάστρα 126
Πίνακας 9.10: Απαιτούμενη Ισχύς στον Άξονα – Καθαρή Γάστρα 127
Πίνακας 9.11: Μέγιστη Ταχύτητα πλεύσης – Καθαρή Γάστρα 128
Πίνακας 9.12: Αντίσταση Ρυμούλκησης – Ρυπασμένη Γάστρα 128
Πίνακας 9.13: Απαιτούμενη Ισχύς στον Άξονα – Ρυπασμένη Γάστρα 129
Πίνακας 9.14: Μέγιστη Ταχύτητα πλεύσης – Ρυπασμένη Γάστρα 130
Πίνακας 10.1: Εμβαδόν Καταστρωμάτων Επιβατών 131
Πίνακας 10.2: Επιβάτες Καταστρωμάτων 131
Πίνακας 10.3: Επιβάτες Θέρους-Χειμώνα 131
Πίνακας 10.4: Αριθμός Οχημάτων ανά Κατάστρωμα 132
Πίνακας 10.5: Βάρος Κενού Σκάφους 133
Πίνακας 10.6: Ταχύτητα Υπηρεσίας 133
Πίνακας 10.7: Εγκατεστημένη Ισχύς Πρόωσης 134
Πίνακας 10.8: Χωρητικότητα 134
Πίνακας 10.9: Main Particulars 135
Πίνακας Ζ.1:Υδροστατικά Στοιχεία Μοντέλου 164
Πίνακας Ζ.2:Υδροστατικά Στοιχεία Υπό Μελέτης πλοίου 164
Πίνακας Ζ.3: Πίνακας Αποτελεσμάτων για την A_1 168
Πίνακας Ζ.4: Πίνακας Αποτελεσμάτων για την A_2 169
Πίνακας Ζ.5: Πίνακας Αποτελεσμάτων για την A_3 170
Πίνακας Ζ.6: Πίνακας Αποτελεσμάτων για την B_3 171
Πίνακας Ζ.7: Πίνακας Αποτελεσμάτων για την C_2 172
Πίνακας Ζ.8: Αντίσταση Ρυμούλκησης – Καθαρή Γάστρα 173
Πίνακας Ζ.9: Απαιτούμενη Ισχύς στον Άξονα – Καθαρή Γάστρα 174
Πίνακας Ζ.10: Αντίσταση Ρυμούλκησης – Ρυπασμένη Γάστρα 175
Πίνακας Ζ.11: Απαιτούμενη Ισχύς στον Άξονα – Ρυπασμένη Γάστρα 176

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Σχέδιο Γενικής διάταξης 'Blue Star Ithaki' 16
Σχήμα 2.2: Πειραματικό Πρότυπο Δοκιμών 19
Σχήμα 2.3: Συντελεστής Υπόλοιπης Αντίστασης Μοντέλου C_R=f(Froude)..... 21
Σχήμα 3.1: Προκαταρκτικό Σχέδιο Μέσης Τομής 26
Σχήμα 3.2: Προκαταρκτικό Σχέδιο Προφίλ..... 26
Σχήμα 3.3: Double Bottom 31
Σχήμα 3.4: Deck 1 32
Σχήμα 3.5: Deck 2 (Platform) 33
Σχήμα 3.6: Deck 4 (First Car Deck) 37
Σχήμα 3.7: Deck 5 38
Σχήμα 3.8: Deck 6 (Second Car Deck)..... 39
Σχήμα 3.9: Deck 7 (First Passenger Deck)..... 45
Σχήμα 3.10: Deck 8 (Second Passenger Deck) 46
Σχήμα 3.11: Deck 9 (Weather Deck) 47
Σχήμα 4.1: Διαμήκες Σύστημα Ενίσχυσης 50
Σχήμα 4.2: Κατανομή Βάρους Ελασμάτων και Δευτερευόντων Διαμήκων Κατασκευαστικών Στοιχείων 53
Σχήμα 4.3: Διάταξη Pillars First Car Deck 59
Σχήμα 6.1: Δρομολόγιο υπό Μελέτη Πλοίου 82
Σχήμα 7.1: Μπάλα του Plimsoll 98
Σχήμα 8.1: Μορφή Γραμμών μετά τη Μορφοποίηση 100
Σχήμα 8.2: AVEVA Surface - Εισαγωγή Δεξαμενών 101
Σχήμα 8.3: AVEVA Surface - Πλήρης Διαμερισματοποίηση 101
Σχήμα 9.1: Διάγραμμα Απαιτούμενης Ισχύος Ρυμούλκησης Γυμνής Γάστρας ως Συνάρτηση της Ταχύτητας 114
Σχήμα 9.2: Διάγραμμα Απαιτούμενης Ισχύος Ρυμούλκησης Γυμνής Γάστρας της μια μόνο Ημιγάστρας, ως Συνάρτηση της Ταχύτητας 115
Σχήμα 9.3: Διάγραμμα Υπολογισμού η_R..... 117
Σχήμα 9.4: Διάγραμμα Απαιτούμενης Εγκατεστημένης Ισχύος – Ταχύτητας Πλεύσης 123
Σχήμα 9.5: Διάγραμμα Φόρτισης Κύριας Μηχανής 125
Σχήμα 9.6: Καμπύλες αντίστασης καθαρής γάστρας συναρτήσει της ταχύτητας για όλες τις καταστάσεις πλεύσης..... 126
Σχήμα 9.7: Απαιτούμενη ισχύς στον άξονα για καθαρή γάστρα συναρτήσει της ταχύτητας για όλες τις καταστάσεις πλεύσης..... 127
Σχήμα 9.8: Καμπύλες αντίστασης ρυπασμένης γάστρας συναρτήσει της ταχύτητας για όλες τις καταστάσεις πλεύσης..... 129
Σχήμα 9.9: Απαιτούμενη ισχύς στον άξονα για ρυπασμένη γάστρα συναρτήσει της ταχύτητας για όλες τις καταστάσεις πλεύσης..... 130
Σχήμα Ζ.1: Καμπύλες αντίστασης καθαρής γάστρας συναρτήσει της ταχύτητας για όλες τις καταστάσεις πλεύσης..... 173

Σχήμα Ζ.2: Απαιτούμενη ισχύς στον άξονα για καθαρή γάστρα συναρτήσει της ταχύτητας για όλες τις καταστάσεις πλεύσης 174
Σχήμα Ζ.3: Καμπύλες αντίστασης ρυπασμένης γάστρας συναρτήσει της ταχύτητας για όλες τις καταστάσεις πλεύσης 175
Σχήμα Ζ.4: Απαιτούμενη ισχύς στον άξονα για ρυπασμένη γάστρα συναρτήσει της ταχύτητας για όλες τις καταστάσεις πλεύσης 176

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κίνητρο της εκπόνησης αυτής της Διπλωματικής Εργασίας αποτέλεσε η μη ύπαρξη αντίστοιχου πλοίου, καθώς όλα τα ήδη υπάρχοντα πλοία ίδιου τύπου είναι ταχύπλοα. Ειδικότερα, αφού το υπό μελέτη πλοίο θα πλέει σε χαμηλότερες ταχύτητες, καθίσταται οικονομικά πιο βιώσιμο έναντι των ταχυπλόων, κυρίως λόγω της αύξησης της τιμής του πετρελαίου την τελευταία δεκαετία.

Ο ουσιαστικός σκοπός της εν λόγω Διπλωματικής εργασίας, είναι να εξεταστεί η εφικτότητα της κατασκευής ενός δίγαστρου πλοίου, το οποίο κινούμενο σε χαμηλότερες ταχύτητες από αυτές των ταχυπλόων, να είναι εμπορικά εκμεταλλεύσιμο.

Λόγω του ότι το πλοίο που μελετάμε θα κινείται σε ταχύτητες που οδηγούν σε αριθμούς Froude της τάξης του 0,3-0,4 όπως αναφέρθηκε, δεν απαιτείται η εγκατάσταση μηχανών ή συστημάτων πρόωσης αυξημένης ισχύος, οι οποίες παράλληλα αυξάνουν το συνολικό βάρος του Lightship, καταλαμβάνουν μεγάλους χώρους του σκάφους και αυξάνουν δραματικά το κόστος και τον προϋπολογισμό του πλοίου. Εκτιμάται πως μια ταχύτητα της τάξης των 18-21 κόμβων, θα ήταν ικανοποιητική για το υπό μελέτη πλοίο και αυτή δύναται να επιτευχθεί με την τοποθέτηση συνήθων μηχανών Diesel και αξονικών συστημάτων, τα οποία θα καταλαμβάνουν σχετικά μικρότερο ποσοστό όγκου και βάρους του πλοίου, ενώ το κόστος αγοράς, συντήρησης και λειτουργίας τους θα είναι σημαντικά χαμηλότερο.

Επιπροσθέτως, λόγω της μη αναγκαιότητας επίτευξης υψηλών ταχυτήτων, δεν υφίσταται απαίτηση για υλικό κατασκευής με χαμηλό ειδικό βάρος, όπως το αλουμίνιο, (το οποίο συναντάται στα ήδη υπάρχοντα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία τύπου Catamaran) προκειμένου να επιτευχθεί μια ελαφριά κατασκευή και να είναι εφικτή η ανάπτυξη υψηλών ταχυτήτων πλεύσης. Συνεπώς, το υπό μελέτη πλοίο δύναται να κατασκευαστεί με ναυπηγικό χάλυβα που εκτιμάται ότι θα μειώσει επιπλέον το κόστος κτίσης του.

Για την εκπόνηση της μελέτης και της σχεδίασης του υπό μελέτη πλοίου, ακολουθήθηκε η παρακάτω πορεία:

Αρχικά, καθορίστηκαν κάποια βασικά επιχειρησιακά χαρακτηριστικά του πλοίου, ώστε κατά τη σχεδίασή του, να τα προσεγγίσουμε κατά το δυνατόν. Μερικά από αυτά είναι η μεταφορική του ικανότητα όσον αφορά τους επιβάτες και τα οχήματα, η υπηρεσιακή του ταχύτητα και η ακτίνα ενέργειας. Οι εκτιμήσεις που έγιναν, φαίνονται παρακάτω:

Μεταφορική Ικανότητα Επιβατών:

- Θέσεις επιβατών θερινής περιόδου: 1100-1200 επιβάτες
- Θέσεις επιβατών χειμερινής περιόδου: της τάξης του 70% των επιβατών θέρους, δηλαδή 750-850 επιβάτες
- Καμπίνες επιβατών με κλίνες για 20-30 άτομα

Μεταφορική Ικανότητα Οχημάτων:

- Συνολικό μήκος φόρτωσης φορτηγών οχημάτων (lanes) στο πρώτο κατάστρωμα μεταφοράς οχημάτων: 320-360 μέτρα. Ο χώρος αυτός θα μπορεί αν καταληφθεί είτε από φορτηγά, είτε από Ι.Χ. αυτοκίνητα
- Ικανότητα μεταφοράς 70-100 Ι.Χ. αυτοκινήτων σε ανώτερο κατάστρωμα, το οποίο θα προορίζεται μόνο για Ι.Χ. αυτοκίνητα

Ακτίνα ενέργειας:

- Η αρχική ιδέα θέλει το πλοίο να εξυπηρετεί ένα δρομολόγιο μεταξύ κάποιων νησιών των Κυκλάδων, και συγκεκριμένα να εκτελεί την εξής διαδρομή: Πειραιάς→Σύρος→Τήνος→Μύκονος. Σύμφωνα με τη θέση των νησιών αυτών και συνυπολογίζοντας το ταξίδι της επιστροφής, εκτιμούμε πως η ακτίνα ενέργειας θα πρέπει αν είναι περίπου 180-220 sea miles.

Ταχύτητα υπηρεσίας:

- Θέλοντας να περιορίσουμε τα κόστη που προκύπτουν από τη λειτουργία του πλοίου όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, θα επιλέξουμε το πλοίο να κινείται σε μια ταχύτητα της τάξης των 18-21 κόμβων

Έτσι, προέκυψαν εν τέλει τα καταστρώματα τα οποία θα τοποθετηθούν. Άρα θα έχουμε:

- 1 κατάστρωμα φόρτωσης φορτηγών οχημάτων ή και Ι.Χ οχημάτων
- 1 κατάστρωμα εξ' ολοκλήρου για φόρτωση Ι.Χ οχημάτων
- 2 καταστρώματα ενδιαίτησης επιβατών

Για την πρόωση του πλοίου, θα υπάρχουν δύο μηχανοστάσια, ένα σε κάθε ημιγάστρα. Θα χρησιμοποιηθούν ως κύριες μηχανές, κινητήρες Diesel (ένας σε κάθε μηχανοστάσιο) οι οποίοι θα στρέφουν ελικοφόρους άξονες αναπτύσσοντας ταχύτητα υπηρεσίας 19 κόμβους.

Με βάση τις ανωτέρω επιλογές, πραγματοποιήθηκε η εκπόνηση του σχεδίου Γενικής Διάταξης (General Arrangement) σε συνδυασμό με επιπλέον στοιχεία και παρεμβάσεις που έγιναν από τον επιβλέποντα και αφορούσαν τις κύριες διαστάσεις, τη μεταφορική ικανότητα και την αυτονομία. Με βάση λοιπόν όλα τα παραπάνω και με γνώμονα τους περιορισμούς που προκύπτουν από αυτά, πραγματοποιήθηκε η σχεδίαση του πλοίου.

Ακολούθως, έγινε ένας προκαταρκτικός υπολογισμός της αντοχής του σκάφους ώστε να εκτιμηθεί το βάρος της μεταλλικής κατασκευής W_{st} και να γίνει εφικτή η συνέχιση της προμελέτης. Ο υπολογισμός των εγκάρσιων κατασκευαστικών στοιχείων του σκάφους, έγινε με βάση τους κανονισμούς του Bureau Veritas (BV 2002). Σε ότι αφορά τον υπολογισμό των ελασμάτων της γάστρας και των κυρίων καταστρωμάτων καθώς και των διαμήκων ενισχυτικών, έγινε χρήση της εφαρμογής Marspeed του Bureau Veritas (VeriSTAR 2013), η οποία διατίθεται ελεύθερα από το νηογνώμονα.

Με βάση τα αποτελέσματα της αντοχής του σκάφους, εκτελείται υπολογισμός του βάρους μεταλλικής κατασκευής στο οποίο προστίθενται και τα βάρη του εξοπλισμού, της ενδιαίτησης και της μηχανολογικής εγκατάστασης που υπολογίζονται στην πορεία. Να σημειωθεί, πως το βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού (W_{ACC} & W_{OT}) υπολογίζεται με τη χρήση συντελεστών για τα επιμέρους βάρη που τα απαρτίζουν, και λαμβάνονται από τη διδακτορική διατριβή του Σωτήρη Σκούπα (Σκούπας 2011). Επίσης, υπολογίζεται ο αριθμός εξαρτισμού (*EN*) με βάση τον οποίο υπολογίζεται το βάρος των μέσων πρόσδεσης και αγκυροβολίας, τα οποία αποτελούν επίσης μέρος του συνολικού βάρους εξοπλισμού. Τελικά, προκύπτει το συνολικό βάρος του κενού σκάφους (*LS*), καθώς και οι αντίστοιχες θέσεις του κέντρου βάρους κατά το διάμηκες (*LCG*) και κατά το κατακόρυφο (*VCG*).

Στη συνέχεια, αφού αρχικά γίνουν οι κατάλληλες τροποποιήσεις με το πρόγραμμα AVEVA Lines (Marine Lines 2006) στις ναυπηγικές γραμμές της γάστρας του πλοίου, -της οποίας το σχέδιο γραμμών είχαμε στην κατοχή μας- πραγματοποιείται μια πλήρης διαμερισματοποίηση του πλοίου, με τη χρήση του προγράμματος AVEVA Surface & Compartment (Marine Surface 2006), καθώς και ο υπολογισμός των διαφόρων καταστάσεων φόρτωσης σε διαφορετικά Payloads, με τα αντίστοιχα *LCG* & *VCG*, μέσω του προγράμματος AVEVA Hydrostatics & Hydrodynamics (Marine CalcM 2006). Με βάση τα αποτελέσματα αυτά, ακολούθως πραγματοποιείται έλεγχος ικανοποίησης των κριτηρίων άθικτης ευστάθειας, καθώς και των κριτηρίων της ευστάθειας ύστερα από βλάβη.

Έπειτα, έχοντας ολοκληρώσει μια πρώτη εκτίμηση για το συνολικό βάρος του πλοίου, υπολογίσαμε την αντίστασή του, σύμφωνα με την οποία επιλέξαμε τις κύριες μηχανές, και αναθεωρήσαμε το συνολικό βάρος του Lightship. Επίσης, εκπονείται η μελέτη καταμέτρησης του πλοίου, και υπολογίζεται η ολική (GT) και η καθαρή (NT) χωρητικότητα καθώς και η σύνθεση του πληρώματος.

Τέλος, πραγματοποιούμε μια αναλυτική σύγκριση του προκύπτοντος πλοίου, με ένα υπαρκτό μονόγαστρο πλοίο αντίστοιχης μεταφορικής ικανότητας που χρησιμοποιήθηκε κατά τη σχεδίαση, από την οποία αξιολογείται η βιωσιμότητά του στη ναυτιλιακή αγορά.

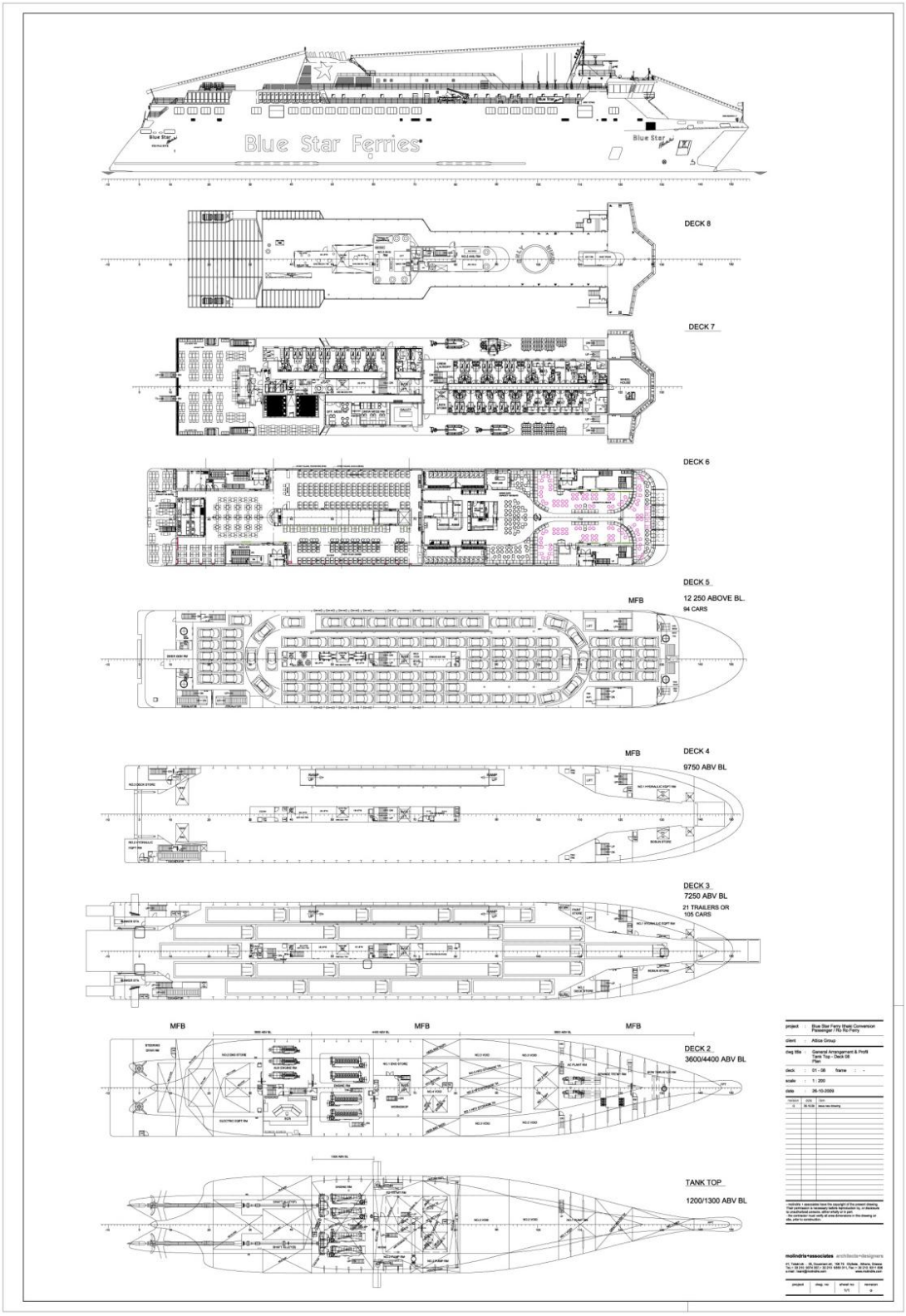
2. ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής, όπως παρουσιάστηκε και στην εισαγωγή, είναι η μελέτη και η σχεδίαση ενός δίγαστρου επιβατηγού πλοίου, παρόμοιας μεταφορικής ικανότητας με το πλοίο 'Blue Star Ithaki' της ελληνικής ναυτιλιακής εταιρίας 'Blue Star Ferries', τα χαρακτηριστικά του οποίου φαίνονται στον **Πίνακα 2.1** παρακάτω:

Πίνακας 2.1: Κύρια χαρακτηριστικά του 'Blue Star Ithaki'

NAME OF VESSEL	BLUE STAR ITHAKI
TYPE OF VESSEL	RO-RO PASSENGER
LENGTH OVER ALL (m)	123,8
LENGTH P.P. (m)	111,8
MAX BREADTH (m)	18,9
DEPTH (MAIN DECK) (m)	7,25
MAX SUMMER DRAUGHT (m)	5,1
GROSS TONNAGE (INTERNATIONAL)	10193
TOTAL BREAK HORSE POWER (kW)	16555
LIGHT SHIP (t)	4004
DISPLACEMENT (t)	6382
DWT (t)	1978
LANE METERS CAPACITY (m) (TRAILERS)	360
CARS CAPACITY	105
NUMBER OF PASSENGERS (SUMMER)	1087
NUMBER OF PASSENGERS (WINTER)	865
PASSENGER BERTH	34
SERVICE SPEED (Knots)	24,1

Επίσης, παρατίθεται στη συνέχεια και το σχέδιο γενικής διάταξης του πλοίου 'Blue Star Ithaki'.



Σχήμα 2.1: Σχέδιο Γενικής διάταξης 'Blue Star Ithaki'

Ουσιαστικά, θέλουμε το υπό μελέτη πλοίο να έχει εμβαδό καταστρώματος παρόμοιο με αυτό του 'Blue Star Ithaki', έτσι ώστε να προσεγγίσουμε τη μεταφορική

του ικανότητα τόσο στα οχήματα, όσο και στους επιβάτες. Με αυτόν τον τρόπο θα είναι δυνατή μια τελική σύγκριση και αξιολόγηση του υπό μελέτη δίγαστρου πλοίου, έναντι ενός μονόγαστρου παρόμοιας μεταφορικής ικανότητας.

Πρωταρχικό πρόβλημα της σχεδίασης είναι ο προσδιορισμός των διαστάσεων του υπό μελέτη πλοίου. Αρχικά, έγιναν κάποιες δοκιμές για το συνδυασμό μήκους και πλάτους, καθώς και του λόγου *L/B*, έτσι ώστε να προσεγγιστεί το εμβαδόν του κύριου καταστρώματος. Για να προβούμε σε δοκιμές μπορούμε αρχικά να υποθέσουμε τη μία διάσταση του καταστρώματος (μήκος ή πλάτος) βασιζόμενοι στον τύπο του πλοίου. Ύστερα, μέσω του εμβαδού καταστρώματος του 'Blue Star Ithaki', θα υπολογιστεί η άλλη διάσταση. Η διάσταση που επιλέγουμε να υπολογίσουμε αρχικά είναι το πλάτος. Το ολικό πλάτος ενός επιβατηγού πλοίου, είναι άρρηκτα συνδεμένο με το συνολικό πλάτος και το πλήθος των φορτηγών οχημάτων που θα μεταφέρονται στο κύριο κατάστρωμα οχημάτων. Τα φορτηγά οχήματα φορτώνονται κατά μήκος του καταστρώματος σε σειρές (lanes), οι οποίες στο υπό μελέτη πλοίο θα έχουν πλάτος 3 m, όπως και στο 'Blue Star Ithaki'. Το πλάτος αυτό είναι ικανοποιητικό, έτσι ώστε να υπάρχει ικανός χώρος μεταξύ των φορτηγών για την επιβίβαση και αποβίβαση των οδηγών τους. Εκτός του χώρου που καταλαμβάνουν τα φορτηγά, θα πρέπει κατά τον υπολογισμό του πλάτους να ληφθούν υπ' όψιν και κάποιοι χώροι που υπάρχουν στις πλευρές του πλοίου. Οι χώροι αυτοί είναι τα δύο Engine Casings, τα οποία εξυπηρετούν τα δύο μηχανοστάσια στις ημιγάστρες. Το πλάτος τους επιλέγεται να είναι 2,8 m, ίσο με του 'Blue Star Ithaki'. Επίσης, θεωρούμε μια απόσταση μεταξύ των ακριανών lanes των φορτηγών και των τοιχωμάτων των Casings, ίση με 0,70 m για του ίδιους λόγους που εξηγήθηκαν παραπάνω, καθώς και για λόγους έχμασης των φορτηγών οχημάτων. Τέλος, λαμβάνεται υπ' όψιν και η τοποθέτηση των υποστηλωμάτων (pillars) που θα πρέπει στην πορεία να τοποθετηθούν, για λόγους αντοχής και στήριξης των καταστρωμάτων. Αφήνεται έτσι, κενός χώρος 1 m, ο οποίος κρίνεται ικανός ώστε να χωρέσουν οι 2 σειρές υποστυλωμάτων που θα τοποθετηθούν. Συνοψίζοντας, καταλήγουμε στο ότι το πλάτος του υπό μελέτη πλοίου μπορεί να υπολογιστεί από τον παρακάτω τύπο:

$$B_{ship} = (\text{Α}\rho\iota\theta\mu\acute{o}\varsigma\ \sigma\varepsilon\iota\rho\acute{\omega}\nu\ \varphi o\rho\tau\eta\gamma\acute{\omega}\nu)*3+2*2.8+2*0,70+1 \qquad 2.1$$

Το 'Blue Star Ithaki' έχει 5 σειρές φόρτωσης φορτηγών οχημάτων. Θα κάνουμε κάποιες δοκιμές για το πλάτος του υπό μελέτη πλοίου, σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο και στη συνέχεια θα υπολογίσουμε το μήκος *L* και το λόγο *L/B* βάσει του εμβαδού *E* του κυρίου καταστρώματος. Σημειώνεται, πως το εμβαδόν που θα χρησιμοποιηθεί είναι του κύριου καταστρώματος του 'Blue Star Ithaki' και είναι περίπου ίσο με 2000 m^2 όπως μετράται από το σχέδιο Γενικής Διάταξής του. Οι δοκιμές που έγιναν φαίνονται παρακάτω:

Πίνακας 2.2: Δοκιμές Αριθμού Lanes

Lanes	*B (m)*	*L (m)*	*L/B*
4	20	100,00	5,00
5	23	86,96	3,78
6	26	76,92	2,96
7	29	68,97	2,38

Επιλέγουμε τις 6 σειρές φόρτωσης φορτηγών οχημάτων. Έτσι θα έχουμε πλάτος B_{ship}= 26m, μήκος *L*=76,92m και ο λόγος μήκους προς πλάτος θα είναι *L/B*=2,96 m. Έτσι, διατηρούμε σταθερό το εμβαδόν του κυρίου καταστρώματος *E*=2000 m^2.

Στο σημείο αυτό, γνωρίζοντας το μήκος του πλοίου, θα προσδιορίσουμε την υπηρεσιακή ταχύτητα στην οποία θα πλέει το πλοίο. Θεωρούμε μια ικανοποιητική περιοχή ταχυτήτων 18-20 κόμβους. Οι ταχύτητες αυτές θεωρούνται κατάλληλες, καθώς είναι αρκετά υψηλές ώστε να προσελκύουν τον επιβάτη να ταξιδέψει με το εν λόγω πλοίο. Παράλληλα, δεδομένης της αύξησης της τιμής του πετρελαίου των τελευταίων δεκαετιών, καθώς και της ανοδικής πορείας της τιμής του που αναμένεται στο μέλλον, η περιοχή ταχυτήτων που επιλέγουμε καθιστά τη λειτουργία του πλοίου οικονομική, καθώς περιορίζεται η κατανάλωση των καυσίμων. Ως ταχύτητα υπηρεσίας λοιπόν, θα επιλέξουμε τους 19 κόμβους που βρίσκονται στη μέση της περιοχής αυτής, και οδηγούν σε αριθμό Froude:

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g * L}} \Rightarrow Fn = \frac{9,73}{\sqrt{9,81 * 74,1}} \Rightarrow Fn = 0,35 \qquad 2.2$$

Τελικά, για το υπό μελέτη πλοίο θα έχουμε:

L_{BP} = 76,92m

B = 26m

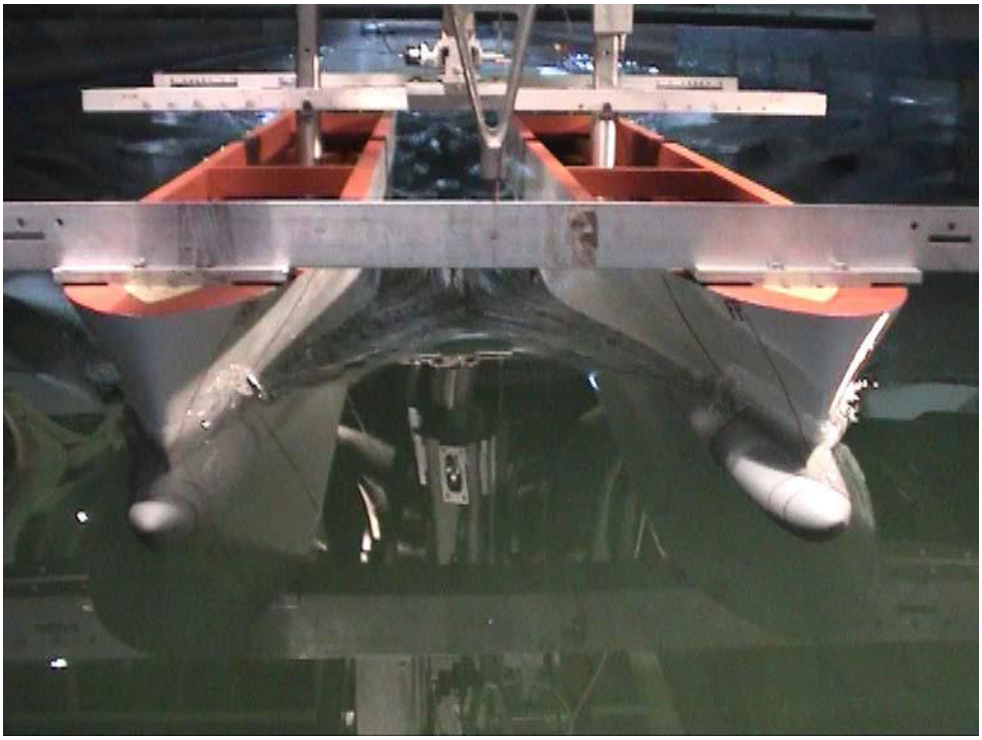
L/B = 2,96

V_s = 19 knots

E = 2000 m^2

Πειραματικό πρότυπο

Παράλληλα με την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκαν στη δεξαμενή δοκιμών της σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών δοκιμές αντίστασης σε ένα πειραματικό πρότυπο δίγαστρου πλοίου . Το πρότυπο αυτό, σχεδιάστηκε στα πλαίσια ενός διεθνούς προγράμματος που είχε ως σκοπό τη μελέτη ενός δίγαστρου Containership (CARGOXPRESS 2011). Οι δοκιμές αντίστασης καθώς και τα αποτελέσματα τους, είναι το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας του φοιτητή Κωνσταντίνου Νίκα με τίτλο 'Πειραματική και αριθμητική διερεύνηση αντίστασης δίγαστρου πλοίου' (Νίκας 2012). Στα συγκεκριμένα πειράματα θα στηριχθούμε για να υπολογίσουμε την αντίσταση του υπό μελέτη πλοίου και τελικά να επιλέξουμε κινητήρες για την πρόωσή του.



Σχήμα 2.2: Πειραματικό Πρότυπο Δοκιμών

Όσον αφορά στα πειράματα του προτύπου, οι δοκιμές που έγιναν είχαν τρεις μεταβλητές (ισαπόσταση *S*[1] των ημιγαστρών, βύθισμα *T*, ταχύτητα *V*). Τα κύρια χαρακτηριστικά του προτύπου δοκιμών φαίνονται στον **Πίνακα 2.3** παρακάτω:

[1] Σε όλο το κείμενο, όταν αναφερόμαστε στην ισαπόσταση ημιγαστρών θα θεωρούμε την απόσταση από τη Center Line της αριστερής ημιγάστρας στη Center Line της δεξιάς ημιγάστρας του πλοίου.

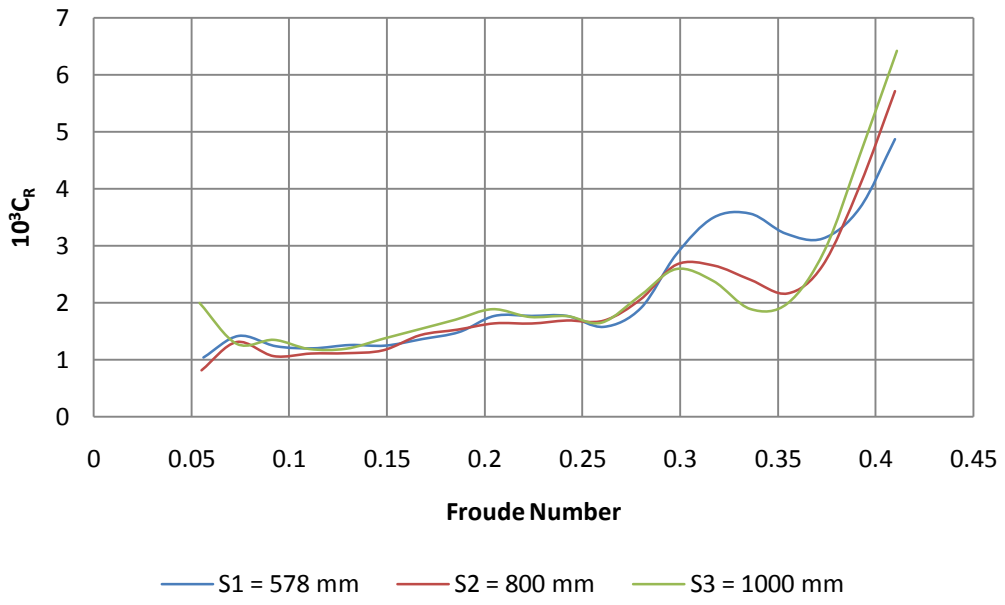
Πίνακας 2.3: Κύρια Χαρακτηριστικά Προτύπου

MODEL SCALE	
L_{BP}	3,125m
$B_{Demihull}$	0,297m
$L_{BP}/ B_{Demihull}$	10,522
C_B	0,574
C_m	0,909
C_P	0,631
T_{A1}	0,146m
T_{A2}	0,161m
T_{A3}	0,186m
S_1	578mm
S_2	800mm
S_3	1000mm

Εξετάζοντας την αντίσταση που προέκυψε από τις δοκιμές, προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα για το συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης C_R του μοντέλου. Στο διάγραμμα παρουσιάζονται τρεις καμπύλες για κάθε μια από τις δοκιμαζόμενες ισαποστάσεις, ως συνάρτηση της ταχύτητας, η οποία εκφράζεται μέσω του αριθμού Froude. Να σημειωθεί, πως το διάγραμμα αφορά το βύθισμα της βαριάς κατάστασης A_3. Παρόλα αυτά, η μορφή των καμπυλών είναι παρόμοια και στα διαγράμματα που αντιστοιχούν στα άλλα δύο βυθίσματα. Τα υδροστατικά στοιχεία που προκύπτουν από τις καταστάσεις φόρτωσης που μελετήθηκαν πειραματικά, φαίνονται παρακάτω:

Πίνακας 2.4: Υδροστατικά Στοιχεία Μοντέλου

A/A	Trim	Lwl [m]	T [m]	Disp [t]	Vol [m^3]	WSA [m^2]
A1	0	3,309	0,146	0,143	0,146	3,049
A2	0	3,248	0,161	0,164	0,162	2,719
A3	0	3,233	0,186	0,198	0,197	3,061
B3	-0,5	3,233	0,186	0,198	0,197	3,059
C2	-1	3,329	0,161	0,164	0,162	2,703



Σχήμα 2.3: Συντελεστής Υπόλοιπης Αντίστασης Μοντέλου C_R=f(Froude)

Από το παραπάνω διάγραμμα, φαίνεται πως ο συντελεστής C_R του μοντέλου παρουσιάζει μείωση ανάμεσα στους αριθμούς Froude 0,33 και 0,37 για τις ισαποστάσεις S_2 και S_3, ενώ για την ισαπόσταση S_1, η μείωση αυτή παρατηρείται για Froude 0,36-0,38. Η μείωση αυτή, είναι αρκετά πιο έντονη στις ισαποστάσεις S_1 και S_2 γύρω από τον αριθμό Froude 0,35. Η ισαπόσταση S_2 αν και παρουσιάζει μεγαλύτερο συντελεστή υπόλοιπης αντίστασης από την S_3, είναι αυτή που τελικά θα επιλεγεί, καθώς οδηγεί σε λόγο *L/B* = 2,85, ο οποίος είναι αρκετά κοντά στον αντίστοιχο λόγο που υπολογίσαμε για το υπό μελέτη πλοίο στην αρχή του κεφαλαίου. Ο λόγος *L/B* του μοντέλου υπολογίζεται ως εξής:

$$B_{model} = B_{Demihull} + S_2 = 0{,}297 + 0{,}8 = 1{,}097 \text{ m} \qquad 2.3$$

$$\frac{L_{BP-model}}{B_{model}} = \frac{3{,}125}{1{,}097} = 2{,}85 \qquad 2.4$$

Στο σημείο αυτό, προκειμένου να χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματα της αντίστασης του προτύπου, καθώς και την κατάλληλη ισαπόσταση των ημιγαστρών, επιλέγουμε το υπό μελέτη πλοίο μας να έχει ίδιο λόγο *L/B* με το πρότυπο, γεγονός που επηρεάζει ελάχιστα τις αρχικές μας επιλογές, ενώ παράλληλα βοηθάει αρκετά την πορεία της μελέτης. Το πλάτος θα κρατηθεί σταθερό και θα αλλάξει μόνο το μήκος και κατ' επέκταση το εμβαδόν καταστρώματος. Βάσει του καινούργιου λόγου έχουμε L_{ship}=74,1m και E=1927m^2.

Για το υπό μελέτη πλοίο, έχουμε επιλέξει ως ταχύτητα υπηρεσίας τους 19 κόμβους. Η ταχύτητα αυτή πλέον αντιστοιχεί στον αριθμό Froude που φαίνεται παρακάτω:

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g*L}} \Rightarrow Fn = \frac{9{,}73}{\sqrt{9{,}81*74{,}1}} \Rightarrow Fn = 0{,}36 \qquad 2.5$$

Σύμφωνα με το **Σχήμα 2.3**, παρατηρούμε πως ο αριθμός Froude αυτός, ανήκει στην περιοχή που ο συντελεστής C_R παρουσιάζει μείωση. Έτσι, βλέπουμε πως έχει γίνει μια πολύ καλή επιλογή από άποψη αντίστασης, της υπηρεσιακής ταχύτητας του πλοίου.

Εφόσον θα χρησιμοποιηθεί το πειραματικό πρότυπο για τη μελέτη της αντίστασης, μπορούμε σύμφωνα με αυτό, να κάνουμε μια πρώτη εκτίμηση για το βύθισμα σχεδίασης και το βύθισμα αντοχής του υπό μελέτη πλοίου. Έτσι, επιλέγουμε ως βύθισμα σχεδίασης T_{des} αυτό που αντιστοιχεί στη κατάσταση δοκιμών A_2 και ως βύθισμα αντοχής T_{scant} αυτό που αντιστοιχεί στην κατάσταση A_3, η οποία έχει και το μεγαλύτερο βύθισμα από τις καταστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν. Κατά την μελέτη των βαρών του πλοίου, θα γίνει προσπάθεια ώστε το εκτόπισμα που προκύπτει μέσω αυτών των βυθισμάτων να είναι επαρκές. Σε αντίθετη περίπτωση, αν οδηγηθούμε σε μεγάλες διαφορές, θα αναθεωρήσουμε. Ο υπολογισμός των βυθισμάτων που αναφέραμε παραπάνω θα γίνει βάσει του λόγου ομοιότητας λ μοντέλου-πλοίου, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\lambda = \frac{B_{ship}}{B_{model}} = \frac{26}{1,097} = 23,70 \qquad 2.6$$

$$T_{Design-ship} = \lambda * T_{A2-model} = 23,70 * 0,161 = 3,826m \qquad 2.7$$

$$T_{A3-ship} = \lambda * T_{A3-model} = 23,70 * 0,186 = 4,42m \qquad 2.8$$

Τελικά, επιλέγουμε ως βύθισμα αντοχής του υπό μελέτη πλοίου τα 4,50 m ώστε να έχουμε κάποιο περιθώριο αντοχής σε περίπτωση που το πλοίο φορτωθεί παραπάνω από την κατάσταση φόρτωσης A_3. Έτσι έχουμε:

$$T_{Scantling-ship} = 4,50m$$

Επίσης, μέσω του λόγου ομοιότητας, υπολογίζουμε και το πλάτος της κάθε ημιγάστρας καθώς και την ισαπόσταση των ημιγαστρών, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$B_{Demihull-Ship} = \lambda * B_{Demihull-Model} = 23,70 * 0,297 = 7,04m \qquad 2.9$$

$$S_{Ship} = \lambda * S_{Model} = 23,70 * 0,8 = 18,96m \qquad 2.10$$

Τελικά, θα έχουμε για τις διαστάσεις του υπό μελέτη πλοίου:

Πίνακας 2.5: Τελικές Διαστάσεις υπό Μελέτη Πλοίου

SHIP PARTICULARS		
L_{BP}	74,1	m
B_{ship}	26	m
L_{BP}/B_{ship}	2,85	-
$B_{demihull}$	7,04	m
S	18,96	m
T_{design}	3,826	m
$T_{scantling}$	4,5	m
V_S	19	knots

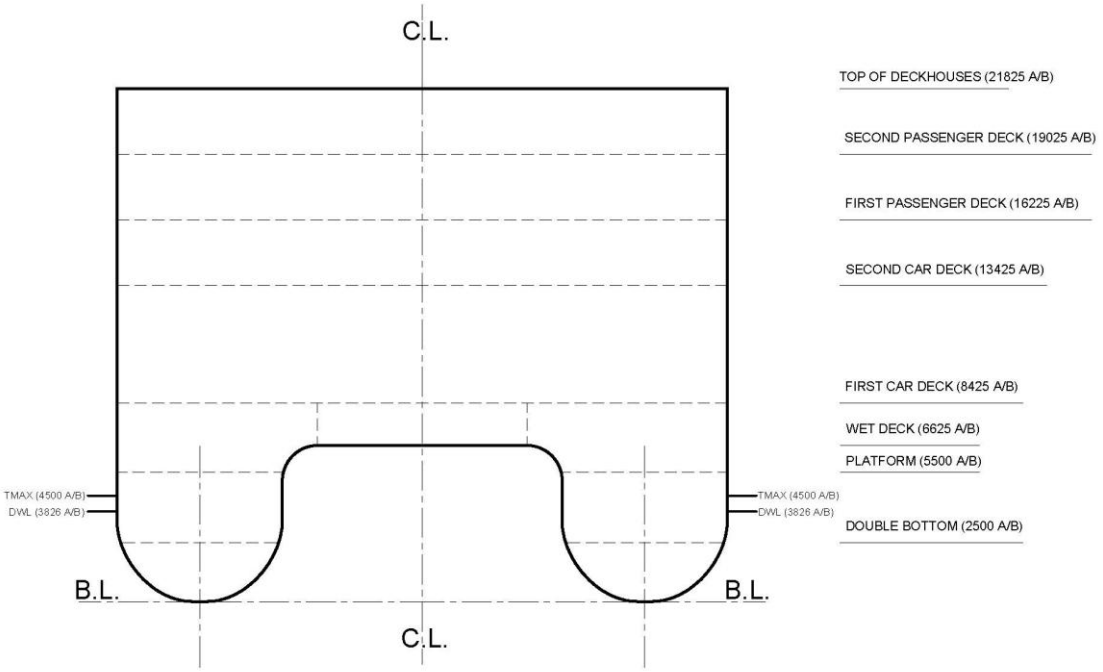
3. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΓΕΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Μετά την επιλογή των βασικών διαστάσεων του υπό μελέτη πλοίου, ακολουθεί η σχεδίαση του Σχεδίου Γενικής Διάταξης. Αυτό θα γίνει βάσει του αντίστοιχου σχεδίου του πλοίου 'Blue Star Ithaki', των εθνικών και διεθνών κανονισμών ασφαλείας και ενδιαιτήσεως καθώς και βάσει προσωπικών σχεδιαστικών επιλογών. Απώτερος σκοπός, είναι να σχεδιαστεί ένα πλοίο παρόμοιας χωρητικότητας με το 'Blue Star Ithaki' σε επιβάτες/χώρους γκαράζ, αλλά και παρόμοιας ποιότητας ενδιαίτησης στους χώρους των καταστρωμάτων επιβατών. Το τελικό σχέδιο, το οποίο παρατίθεται στο Παράρτημα ''Α'', περιλαμβάνει μια διαμήκη τομή, μια εγκάρσια τομή καθώς και τις κατόψεις όλων των καταστρωμάτων.

Οι κύριες διαστάσεις που έχουμε επιλέξει στο προηγούμενο κεφάλαιο και βάσει των οποίων θα γίνει η σχεδίαση είναι οι εξής:

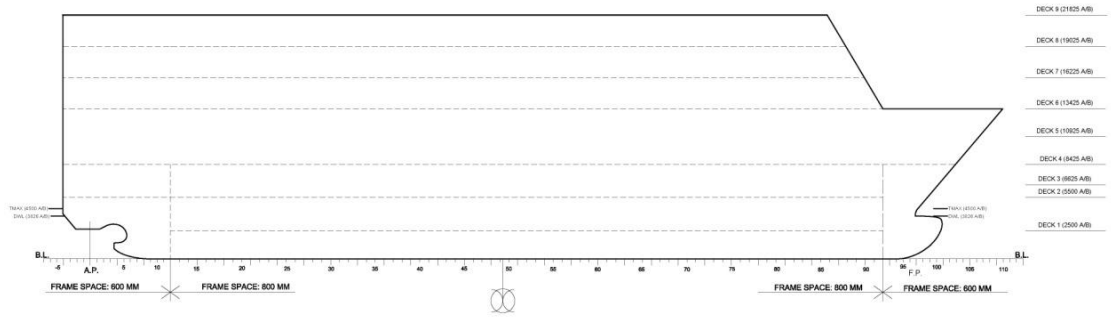
- Μήκος μεταξύ καθέτων L_{BP}=74,10m
- Πλάτος ημιγάστρας B_d=7,04m
- Ισαπόσταση ημιγαστρών S=18,96m
- Ολικό πλάτος B=26m
- Βύθισμα σχεδίασης T_{des}=3,826m
- Βύθισμα αντοχής T_{scant}=4,5m

Αρχικά, σχεδιάστηκε ένα προκαταρκτικό σχέδιο της μέσης τομής (Midship Section) του υπό μελέτη πλοίου, έτσι ώστε να υπολογιστεί η θέση του κάθε καταστρώματος. Στις δύο ημιγάστρες, τοποθετείται διπύθμενο (double bottom) σε ύψος h_{DB}=2,5m καθώς και κατάστρωμα σε ύψος h_{D2}=5,5m. Το Wet Deck τοποθετείται σε ύψος h_{wd}=6,625m, καθώς θα πρέπει να υπάρχει μια απόσταση περίπου 3m από το βύθισμα σχεδίασης μέχρι το Wet Deck για τον περιορισμό της έντασης της σφυρόκρουσης (slamming). Το πρώτο κατάστρωμα αυτοκινήτων (First Car Deck), το οποίο είναι και το κατάστρωμα στεγανών φρακτών, τοποθετείται 1,8m πάνω από το Wet Deck. Η απόσταση του First Car Deck από το βύθισμα σχεδίασης είναι 4,6m, και κρίνεται ικανοποιητική για την ομαλή επιβίβαση επιβατών και φόρτωση οχημάτων μέσω του πρυμναίου καταπέλτη. Για το ύψος και τον αριθμό των υπόλοιπων καταστρωμάτων, θα χρησιμοποιηθούν παρόμοιες επιλογές με αυτές που έχουν γίνει κατά την σχεδίαση του πλοίου 'Blue Star Ithaki'. Έτσι, θα τοποθετηθούν μετά το πρώτο κατάστρωμα αυτοκινήτων ένα δεύτερο κατάστρωμα αυτοκινήτων (Second Car Deck) καθώς και δύο καταστρώματα επιβατών (Passenger Decks). Το ύψος του πρώτου καταστρώματος αυτοκινήτων θα είναι 5m, ενώ το ύψος των υπόλοιπων καταστρωμάτων, ορίζεται στα 2,8m που είναι και το ύψος των αντίστοιχων καταστρωμάτων στο 'Blue Star Ithaki'. Παρακάτω, φαίνεται το σχέδιο της μέσης τομής στην αρχική φάση σχεδίασης.



Σχήμα 3.1: Προκαταρκτικό Σχέδιο Μέσης Τομής

Ακολούθως, σχεδιάζεται το προφίλ (Profile) του πλοίου, όπως αυτό προκύπτει από τις γραμμές της ημιγάστρας του προτύπου που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα αντίστασης (Νίκας 2012). Για τη σχεδίαση του προφίλ, έγινε scale στην ημιγάστρα του μοντέλου με κλίμακα λ=23,70, η οποία υπολογίστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Πλέον, από το προφίλ, μπορούμε να μετρήσουμε τα μήκη $L_{wl}(T_{des})$=77,21m και $L_{wl}(T_{scant})$=76,81m. Τα δύο καταστρώματα επιβατών εκτείνονται μέχρι τη φρακτή σύγκρουσης (ο έλεγχος της θέσης της φρακτής σύγκρουσης θα παρουσιαστεί σε επόμενο κεφάλαιο). Παρακάτω φαίνεται το σχέδιο του προφίλ.



Σχήμα 3.2: Προκαταρκτικό Σχέδιο Προφίλ

Στη συνέχεια, γίνεται αναλυτική περιγραφή των καταστρωμάτων και των σχεδιαστικών επιλογών που έγιναν. Η παρουσίαση γίνεται σε τρία υποκεφάλαια

που αφορούν τους χώρους κάτω από το κατάστρωμα στεγανών φρακτών, τους χώρους οχημάτων και τους χώρους ενδιαιτήσεως.

3.1. Κατώτερα Καταστρώματα

Ως κατάστρωμα στεγανών φρακτών, (bulkhead deck) έχει επιλεχθεί το πρώτο κατάστρωμα οχημάτων που βρίσκεται σε ύψος 8,425m από το βασικό επίπεδο αναφοράς. Οι χώροι κάτω από το κατάστρωμα αυτό (lower hull) χωρίζονται καθ'ύψος από δύο καταστρώματα, το διπύθμενο (double bottom) σε ύψος 2,5m και την πλατφόρμα σε ύψος 5,5m. Όσον αφορά το double bottom, οι κανονισμοί (SOLAS 1990) ορίζουν πως το ελάχιστο ύψος του διπύθμενου είναι $h_{DBmin}=B/20=26/20=1{,}3$m, οπότε καλύπτεται ο κανονισμός.

Για τον ορισμό των εγκάρσιων κατασκευαστικών νομέων (frame spacing), επιλέγουμε ισαπόσταση νομέων 600mm μέχρι το frame 12, ισαπόσταση 800mm από το frame 12 μέχρι το frame 92 (όπου θα τοποθετήσουμε στη συνέχεια τη φρακτή σύγκρουσης) και ισαπόσταση 600mm από το frame 92 και πρώραθεν. Για την τοποθέτηση των web frames επιλέγουμε την ισαπόσταση των 2,4m. Έτσι, μέχρι το frame 12, έχουμε web frames κάθε 4 κατασκευαστικούς νομείς (4·0,6=2,4m), από το frame 12 μέχρι το frame 92, κάθε 3 κατασκευαστικούς νομείς (3·0,8=2,4m) και από το frame 92 και πρώραθεν, κάθε 4 κατασκευαστικούς νομείς (4·0,6=2,4m). Για τα διαμήκη δευτερεύοντα ενισχυτικά επιλέχθηκε η ισαπόσταση των 600mm για τα καταστρώματα ενδιαίτησης επιβατών, των 325mm για το πρώτο κατάστρωμα φόρτωσης οχημάτων (καθώς θα φορτώνεται και με φορτηγά οχήματα), και των 660mm για το δεύτερο κατάστρωμα φόρτωσης οχημάτων, όπου θα φορτώνεται μόνο με Ι.Χ αυτοκίνητα. Κατά την πορεία σχεδίασης του Σχεδίου Γενικής Διάταξης, όλες οι εγκάρσιες και διαμήκεις μεταλλικές φρακτές, τοποθετήθηκαν σε εγκάρσιους και διαμήκεις κατασκευαστικούς νομείς αντίστοιχα.

Όσον αφορά τη διαμήκη διαμερισματοποίηση, οι χώροι κάτω από το κατάστρωμα στεγανών φρακτών, χωρίζονται από 8 στεγανές φρακτές σε 9 διαμερίσματα (σε κάθε ημιγάστρα). Οι φρακτές αυτές, είναι υδατοστεγείς και εκτείνονται μέχρι το πρώτο κατάστρωμα οχημάτων. Για τον υπολογισμό της θέσης της πρωραίας στεγανής φρακτής σύγκρουσης (collision bulkhead), χρησιμοποιήθηκε ο κανονισμός 12 του κεφαλαίου ΙΙ-1 της SOLAS (SOLAS 1990). Εκεί αναγράφεται, πως η φρακτή σύγκρουσης πρέπει να τοποθετηθεί σε απόσταση 'a' από την πρωραία κάθετο (F.P.), όχι μικρότερη από 0,05L ή 10m (όποια είναι μικρότερη) και όχι μεγαλύτερη από 0,08L ή 0,05L+3m (όποια είναι μεγαλύτερη). Με L=76,61m, το οποίο είναι το μήκος που ορίζεται στον κανονισμό της γραμμής φόρτωσης (ILLC 1966) και υπολογίζεται λεπτομερώς σε επόμενο κεφάλαιο, βρίσκουμε ελάχιστη απόσταση a_{min}= 3,83m και μέγιστη a_{max}=6,83m. Όμως, λόγω της ύπαρξης βολβού, η απόσταση αυτή δεν θα μετρηθεί από τη πρωραία κάθετο αλλά από τη μικρότερη απόσταση από τις παρακάτω:

-Το μέσο της απόστασης της πρωραίας καθέτου και του άκρου του βολβού (1,2m)
-0,015*L* μπροστά από την πρωραία κάθετο (1,149m)
-3m μπροστά από τη πρωραία κάθετο

Έτσι, η απόσταση *a*, θα μετρηθεί από ένα σημείο 1,149m μπροστά από τη F.P.. Τελικώς, επιλέγουμε να τοποθετηθεί η φρακτή σύγκρουσης στο frame 92 που απέχει $a_{c.b.}$=4,05m από το παραπάνω σημείο. Βλέπουμε πως $a_{min} \leq a_{c.b.} \leq a_{max}$.

Σύμφωνα με τον παραπάνω κανονισμό (SOLAS 1990), η φρακτή σύγκρουσης προεκτείνεται μέχρι το αμέσως επόμενο συνεχές κατάστρωμα (Second Car Deck) μετά το κατάστρωμα στεγανών φρακτών (First Car Deck). Χώροι εργασίας του πληρώματος ανάμεσα στα δύο αυτά καταστρώματα, μπορούν να τοποθετηθούν μπροστά από τη φρακτή, με την προϋπόθεση η πρόσβαση σε αυτούς να γίνεται από υδατοστεγείς θύρες.

Ακολουθεί η περιγραφή των χώρων κάτω από το κατάστρωμα στεγανών φρακτών.

Διπύθμενο (Double Bottom)

Τα δύο διπύθμενα (Deck 1), ένα σε κάθε ημιγάστρα, εκτείνονται από το frame 12 έως τη φρακτή σύγκρουσης. Στον χώρο του μηχανοστασίου (frame 36 έως frame 49), το ύψος του διπύθμενου γίνεται 1,5m έτσι ώστε να διευκολυνθεί η τοποθέτηση των μηχανών, του μειωτήρα και του αξονικού συστήματος. Κάτω από το διπύθμενο έχουν τοποθετηθεί οι ίδιες δεξαμενές σε κάθε ημιγάστρα, συμμετρικά ως προς το διαμήκη άξονα συμμετρίας του πλοίου. Στην πλώρη υπάρχει η πρωραία δεξαμενή ζυγοστάθμισης (Fore Peak Tank) καθώς και το σύστημα των bow thrusters. Πρύμνηθεν του συστήματος αυτού βρίσκονται 2 δεξαμενές θαλασσίου έρματος (Water Ballast Tanks) και ανάμεσα τους ένα άδειο διαμέρισμα (void space). Από τη φρακτή που βρίσκεται στο frame 36 (πρυμναία φρακτή μηχανοστασίου) μέχρι τη φρακτή του frame 49, έχουν τοποθετηθεί διάφορες δεξαμενές που σχετίζονται με τη μηχανολογική εγκατάσταση του υπό μελέτη πλοίου, όπως δεξαμενές λιπαντικών και καυσίμων. Στο διαμέρισμα πρύμνηθεν της πρυμναίας φρακτής μηχανοστασίου έχουν τοποθετηθεί, μαζί με τον άξονα της έλικας, και δεξαμενές καυσίμων και διαφόρων υγρών. Τα υπόλοιπα διαμερίσματα έχουν αφεθεί κενά, για την τοποθέτηση του άξονα.

Deck 1

Πάνω από το διπύθμενο (Deck 1), έχουν τοποθετηθεί εκτός από δεξαμενές, και χώροι που εξυπηρετούν τη μηχανολογική εγκατάσταση του πλοίου. Στην πλώρη υπάρχει η Fore Peak Tank και ο χώρος του bow thruster, οι οποίοι αποτελούν

συνέχεια των αντίστοιχων χώρων που υπάρχουν κάτω από το διπύθμενο. Στα επόμενα δύο διαμερίσματα, έχουν τοποθετηθεί τα μηχανήματα επεξεργασίας πόσιμου νερού, οι δεξαμενές πόσιμου νερού, οι δεξαμενές έρματος για τον έλεγχο της εγκάρσιας κλίσης (Heeling Tanks), καθώς και δεξαμενές καυσίμων. Στη συνέχεια βρίσκεται το αντλιοστάσιο (pump room) του υπό μελέτη πλοίου και δεξαμενές καυσίμου της κύριας μηχανής. Από το frame 36 έως το frame 49 έχουν τοποθετηθεί οι κύριες μηχανές (main engines) του υπό μελέτη πλοίου μαζί με τους μειωτήρες. Πρύμνηθεν των κυρίων μηχανών, τοποθετούνται τα μηχανήματα επεξεργασίας των λιπαντικών (lubricant oil treatment room) και επεξεργασίας λυμάτων (sewage treatment room), ενώ στα δύο επόμενα διαμερίσματα έχουν τοποθετηθεί μια δεξαμενή έρματος και ένας κενός χώρος. Να σημειώσουμε πως στο ύψος αυτό του πλοίου, δεν έχουν τοποθετηθεί στεγανές πόρτες στις φρακτές για την πρόσβαση του πληρώματος από το ένα διαμέρισμα στο άλλο. Η πρόσβαση γίνεται μέσω της ανόδου, από το ένα διαμέρισμα στο υπερκείμενο κατάστρωμα (πλατφόρμα), στο ύψος του οποίου υπάρχουν στεγανές θύρες στις εγκάρσιες φρακτές και στη συνέχεια καθόδου από το άλλο διαμέρισμα στο Deck 1 μέσω κλιμακοστασίων.

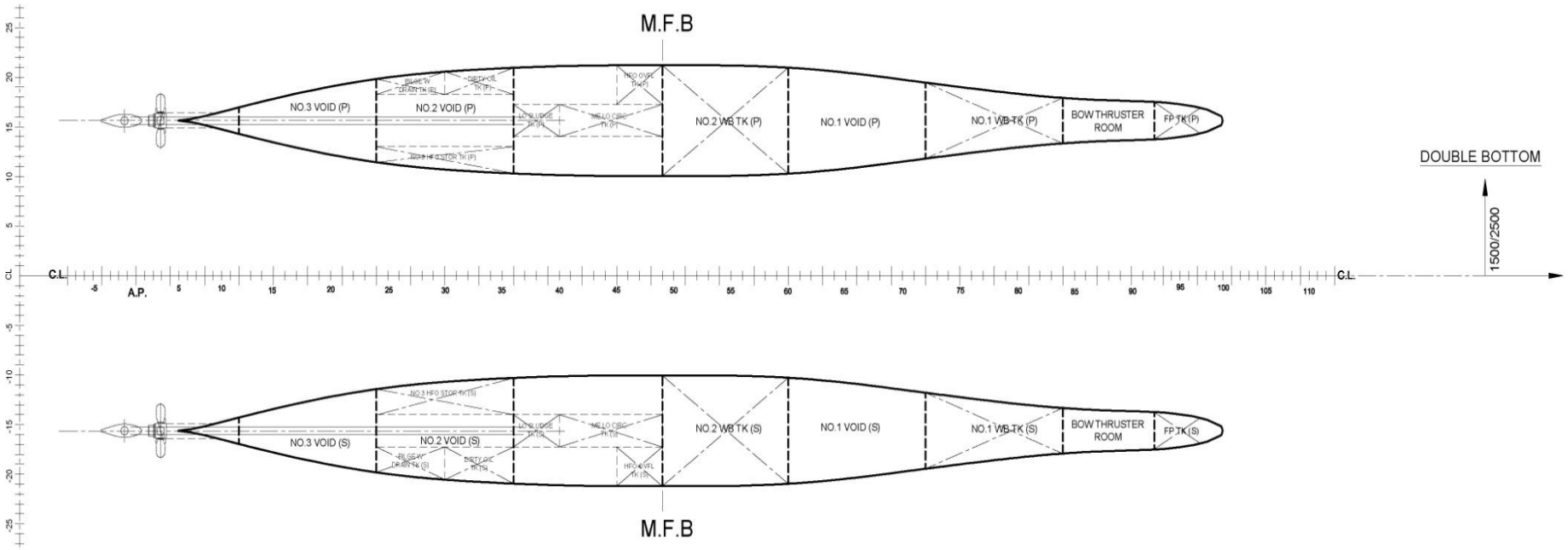
Πλατφόρμα (Deck 2)

Η πλατφόρμα (platform) βρίσκεται σε ύψος 5,5m και χρησιμοποιείται για χώρους της μηχανολογικής εγκατάστασης και χώρους εργασίας του πληρώματος. Ξεκινώντας από την πλώρη, έχουν τοποθετηθεί η Fore Peak Tank και ο χώρος που χρησιμοποιείται για το σύστημα του κλιματισμού του πλοίου. Στα επόμενα διαμερίσματα μέχρι το διαμέρισμα όπου βρίσκεται ο κινητήρας, υπάρχουν βοηθητικοί χώροι όπως συνεργεία, αποθήκες και ψυγεία, ενώ ακολούθως έχουν τοποθετηθεί τα βοηθητικά μηχανήματα (auxiliary machinery) της κύρια μηχανής. Στο διαμέρισμα όπου βρίσκεται ο κινητήρας, υπάρχει άνοιγμα έτσι ώστε να χωρέσει η κύρια μηχανή που έχει τοποθετηθεί στο Deck1. Προς την πρύμνη του πλοίου έχουν τοποθετηθεί οι τρείς ηλεκτρογεννήτριες (2 στη starboard side και 1 στην port side), καθώς και οι δεξαμενές καυσίμου τους. Τέλος, έχουν τοποθετηθεί διάφοροι χώροι εργασίας και τουαλέτες, ενώ το τελευταίο διαμέρισμα έχει μείνει όλο ως κενός χώρος. Στο ύψος αυτό, η πρόσβαση από το ένα διαμέρισμα στο άλλο γίνεται μέσω υδατοστεγών θυρών, ενώ υπάρχουν κλιμακοστάσια για την πρόσβαση στους χώρους του Deck1. Στο τρίτο και τέταρτο διαμέρισμα (ξεκινώντας από την πλώρη) υπάρχου κλιμακοστάσια για την πρόσβαση στους υπερκείμενους χώρους (First Car deck) στην port side, ενώ στην starboard side, τα κλιμακοστάσια αυτά βρίσκονται στο τρίτο και στο έβδομο διαμέρισμα. Ακόμη, έχει τοποθετηθεί στην port side ανελκυστήρας για το πλήρωμα, ο οποίος εξυπηρετεί τα καταστρώματα από την πλατφόρμα μέχρι και το Δεύτερο Κατάστρωμα Επιβατών.

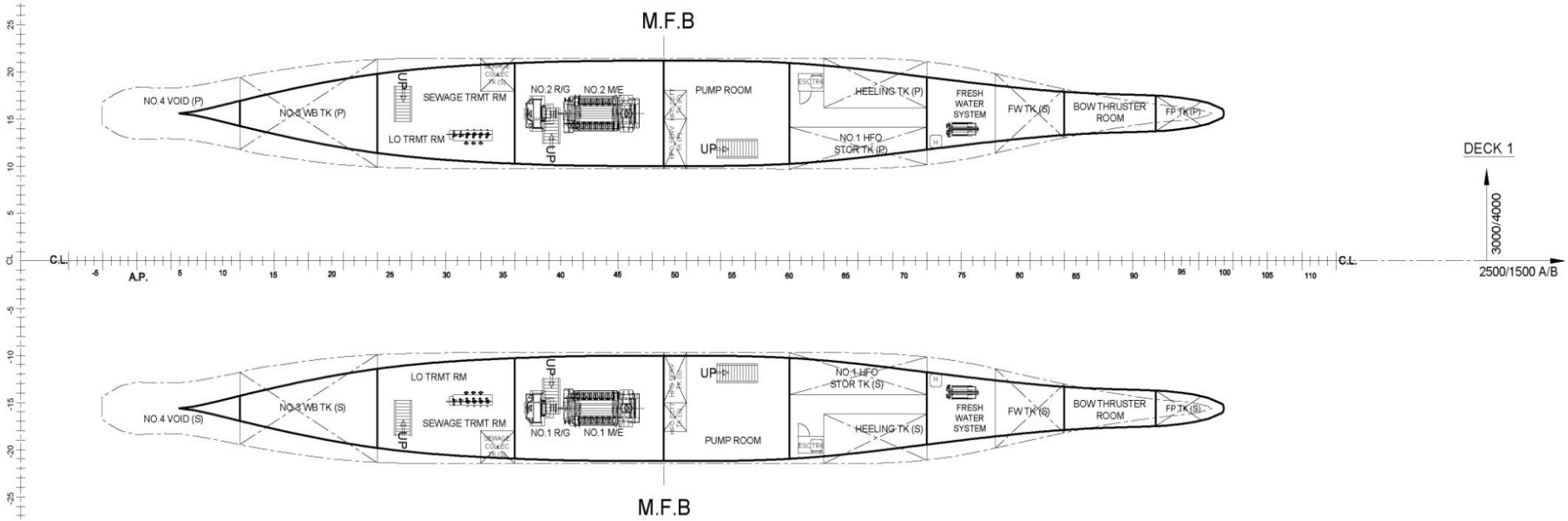
Να σημειώσουμε πως ανάμεσα στις δύο ημιγάστρες έχει τοποθετηθεί κατάστρωμα (Deck 3 - wet deck) σε ύψος 6,625m, το οποίο βρίσκεται 1,8m κάτω από το κατάστρωμα στεγανών φρακτών (First Car Deck). Το κατάστρωμα αυτό χωρίζεται από τους χώρους της πλατφόρμας μέσω δύο διαμήκων girders που έχουν τοποθετηθεί στα 4,46m αντιδιαμμετρικά του διαμήκη άξονα συμμετρίας. Οι χώροι

που περιλαμβάνει το wet deck έχουν αφεθεί κενοί, οπότε δεν υπάρχει αντίστοιχη τομή για το κατάστρωμα αυτό στο Σχέδιο Γενικής Διάταξης.

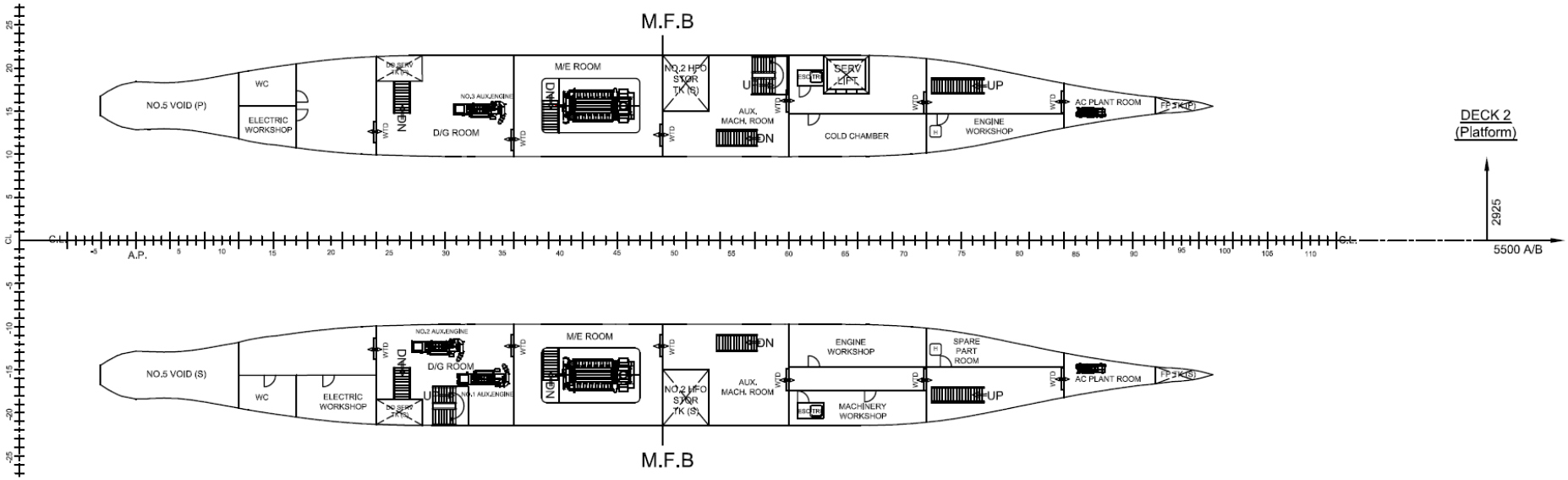
Ακολουθούν οι κατόψεις των καταστρωμάτων που περιγράψαμε παραπάνω:



Σχήμα 3.3: Double Bottom



Σχήμα 3.4: Deck 1



Σχήμα 3.5: Deck 2 (Platform)

3.2. Καταστρώματα Οχημάτων

Οι χώροι που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά οχημάτων, αποτελούνται από το Πρώτο Κατάστρωμα Οχημάτων (First Car Deck – Deck 4) και το Δεύτερο Κατάστρωμα Οχημάτων (Second Card Deck – Deck 6). Στις δύο πλευρές του πλοίου και στο μέσο του μήκους του έχουν τοποθετηθεί τα δύο Engine Casings, τα οποία εξυπηρετούν τους χώρους της κύριας μηχανής και των ηλεκτρογεννητριών. Το πλάτος τους έχει επιλεχθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο ίσο με 2,8m. Τα Engine Casings περιλαμβάνουν καπνοδόχους (funnels) για τα καυσαέρια της κύριας μηχανής, των βοηθητικών μηχανημάτων και των ηλεκτρογεννητριών, αεραγωγούς για την παροχή αέρα στους χώρους της κύριας μηχανής, των βοηθητικών μηχανημάτων και των ηλεκτρογεννητριών, καθώς και χώρους για τη δίοδο σωληνώσεων και καλωδιώσεων. Το μήκος του casing στην starboard side είναι 16m, ενώ το αντίστοιχο στην port side είναι 14,4m. Η διαφορά αυτή δικαιολογείται από το γεγονός ότι στην starboard side υπάρχουν δύο ηλεκτρογεννήτριες ενώ στην port μόνο μία.

Πρώτο Κατάστρωμα Οχημάτων (Deck 4)

Το Πρώτο Κατάστρωμα Οχημάτων (First Car Deck) αποτελεί το κατάστρωμα στεγανών φρακτών (Watertight Bulkhead Deck), βρίσκεται σε απόσταση 8,425m από τη Base Line και είναι το κατάστρωμα από το οποίο εισέρχονται από τον καταπέλτη -που βρίσκεται στην πρύμνη- οι επιβάτες και τα οχήματα. Σε αυτό φορτώνονται φορτηγά οχήματα, ενώ η απόσταση του από το Δεύτερο Κατάστρωμα Οχημάτων είναι 5m. Συνολικά, τοποθετήθηκαν 6 λωρίδες φορτηγών πλάτους 3m και συνολικού μήκους 344m.

Στο κατάστρωμα αυτό, υπάρχουν χώροι εργασίας του πληρώματος στις δύο πλευρές του πλοίου ως συνέχεια των δύο Engine Casings. Οι χώροι αυτοί περιλαμβάνουν αποθήκες, δωμάτια υδραυλικής εγκατάστασης, τουαλέτες, χώρους για τη συγκέντρωση των αποσκευών των επιβατών, δωμάτια για αλληλογραφία, ανεμιστήρες για τον κλιματισμό και γραφεία διαχείρισης εμπορευμάτων.

Όσον αφορά τη διακίνηση των επιβατών και του πληρώματος, υπάρχει ένα σύστημα κλιμακοστασίων και ανελκυστήρων, τοποθετημένα στις πλευρές του πλοίου. Κλιμακοστάσια για τη πρόσβαση στο Δεύτερο Κατάστρωμα Οχημάτων και στο Πρώτο Κατάστρωμα επιβατών υπάρχουν στη πλώρη και στην πρύμνη του πλοίου, όπου και βρίσκονται οι ράμπες φόρτωσης/εκφόρτωσης. Στην πρύμνη και ειδικά στη starboard side έχει τοποθετηθεί επιπροσθέτως του κλιμακοστασίου και σύστημα ηλεκτρικών κυλιόμενων κλιμάκων. Στην διάθεση των επιβατών υπάρχουν ακόμη και δύο ανελκυστήρες, ένας στην πρύμνη (port side) και ένας στην πλώρη (starboard side). Για την πρόσβαση του πληρώματος στους χώρους κάτω από το First Car Deck διατίθενται κλιμακοστάσια στο πρωραίο μέρος του πλοίου αλλά και

στο πρυμναίο, ώστε να εξυπηρετούνται ευκολότερα τα μηχανοστάσια. Τέλος, διατίθεται και ανελκυστήρας για το πλήρωμα, όπως αναφέρθηκε στην περιγραφή του Platform (Deck 2).

Deck 5

Το Deck 5 βρίσκεται σε ύψος 2,5m πάνω από το Πρώτο Κατάστρωμα Οχημάτων. Ουσιαστικά, περιέχει μόνο χώρους εργασίας περιμετρικά στις πλευρές του πλοίου, οι οποίοι αποτελούν συνέχεια των αντίστοιχων χώρων του πρώτου καταστρώματος οχημάτων. Οι χώροι αυτοί αποτελούνται από υδραυλικά συστήματα, δωμάτια επεξεργασίας πόσιμου νερού και αποθήκες. Η πρόσβαση σε αυτούς γίνεται μέσω των κλιμακοστασίων που εξυπηρετούν την πρόσβαση των επιβατών και του πληρώματος στο Δεύτερο Κατάστρωμα Οχημάτων. Επίσης, υπάρχει κλιμακοστάσιο στην πρύμνη, το οποίο εξυπηρετεί μόνο κάποιους χώρους του Deck 5. Στην πλώρη (μπροστά από τη φρακτή σύγκρουσης) έχουν τοποθετηθεί τα μηχανήματα που εξυπηρετούν τα συστήματα πρόσδεσης και αγκυροβολίας της πλώρης, τα οποία βρίσκονται στο υπερκείμενο Second Car Deck. Τέλος, αντίστοιχος χώρος μικρότερου μεγέθους υπάρχει και στην πρύμνη του πλοίου για τα αντίστοιχα συστήματα πρόσδεσης της πρύμνης.

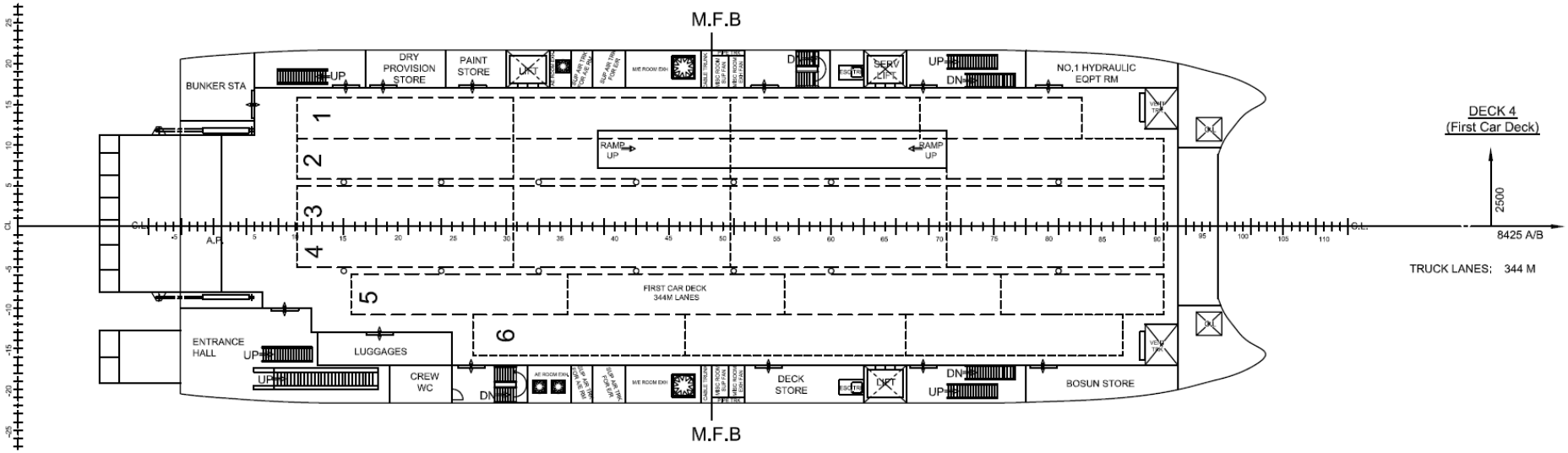
Δεύτερο Κατάστρωμα Οχημάτων (Deck 6)

Το Δεύτερο Κατάστρωμα Οχημάτων (Second Car Deck) βρίσκεται σε ύψος 13,425m και απέχει 5m από το Πρώτο Κατάστρωμα Οχημάτων. Υπάρχει η δυνατότητα για τη μεταφορά 87 Ι.Χ. επιβατηγών αυτοκινήτων, χωρισμένα σε 8 σειρές (lanes), ενώ έχει αφεθεί και ελεύθερος χώρος ανάμεσα στις σειρές για την τοποθέτηση των υποστηλωμάτων (pillars) που στηρίζουν τα υπερκείμενα καταστρώματα. Στην πλώρη και στην πρύμνη έχουν τοποθετηθεί σε ανοιχτούς χώρους τα συστήματα πρόσδεσης και αγκυροβολίας του πλοίου. Τα συστήματα της πλώρης εκτείνονται προς την πρύμνη μέχρι την προέκταση της φρακτής σύγκρουσης, όπου και ξεκινάνε οι κλειστοί χώροι του καταστρώματος αυτού. Το κλειστό κατάστρωμα, εκτός από τους χώρους οχημάτων, περιλαμβάνει χώρους εργασίας του πληρώματος, αποθήκες, μηχανήματα για τον εξαερισμό στην πλώρη και την πρύμνη, δωμάτια ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και χώρους για τις αποσκευές των επιβατών. Στο πρυμναίο άκρο έχει τοποθετηθεί η ηλεκτρογεννήτρια εκτάκτου ανάγκης (Emergency Generator), η οποία σύμφωνα με τους κανονισμούς (SOLAS 1990), πρέπει να βρίσκεται πάνω από το ανώτερο συνεχές κατάστρωμα (First Car Deck – Deck 4). Για την πρόσβαση των επιβατών και του πληρώματος στο Δεύτερο Κατάστρωμα οχημάτων και στο Πρώτο Κατάστρωμα επιβατών διατίθενται κλιμακοστάσια στην πρύμνη και στην πλώρη καθώς και οι 3 ανελκυστήρες που περιγράφηκαν παραπάνω. Η πρόσβαση των οχημάτων στο Δεύτερο Κατάστρωμα Οχημάτων γίνεται μέσω κινούμενης ράμπας που βρίσκεται στην port side του καταστρώματος. Επίσης, έχουν τοποθετηθεί 2 έξοδοι έκτακτης ανάγκης (emergency exits), για την

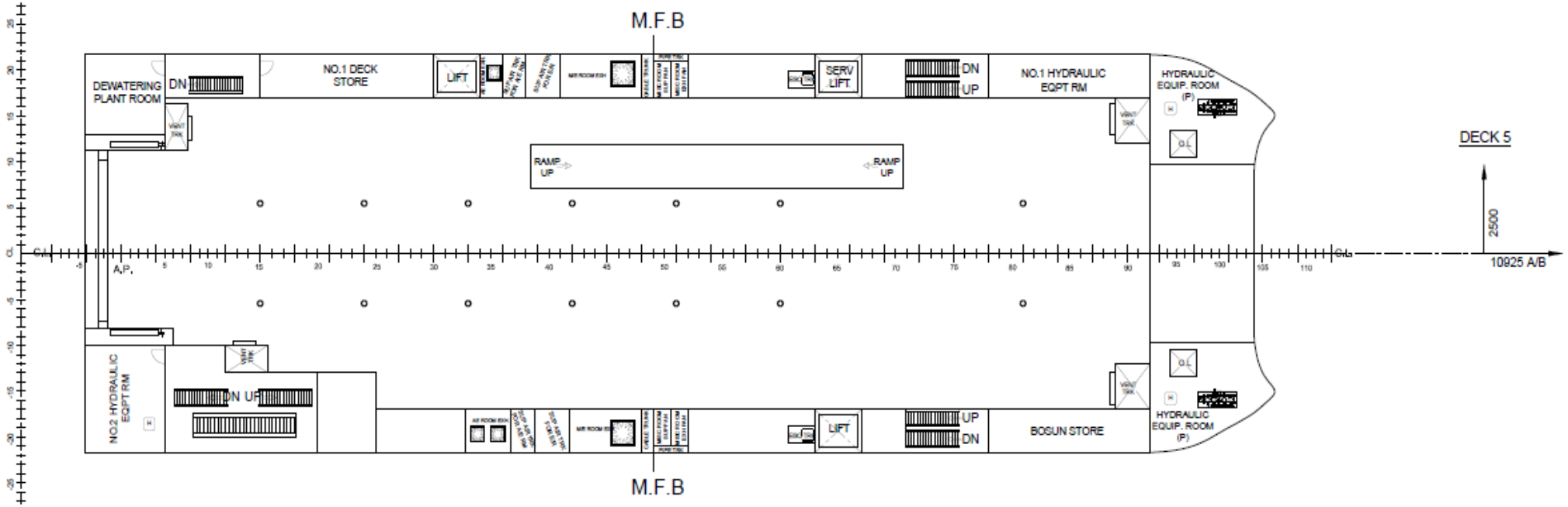
ασφαλή εκκένωση των χώρων του μηχανοστασίου από το πλήρωμα σε περίπτωση κινδύνου.

Τέλος, να σημειώσουμε πως το μήκος των δύο engine casings έχει μειωθεί κατά 1m στο κατάστρωμα αυτό, καθώς το πρυμναίο άκρο των engine casings ακολουθεί από το First Car Deck και καθ' όλο το ύψος του πλοίου κεκλιμένη πορεία. Αντίστοιχη μείωση θα εμφανιστεί και στα υπόλοιπα καταστρώματα.

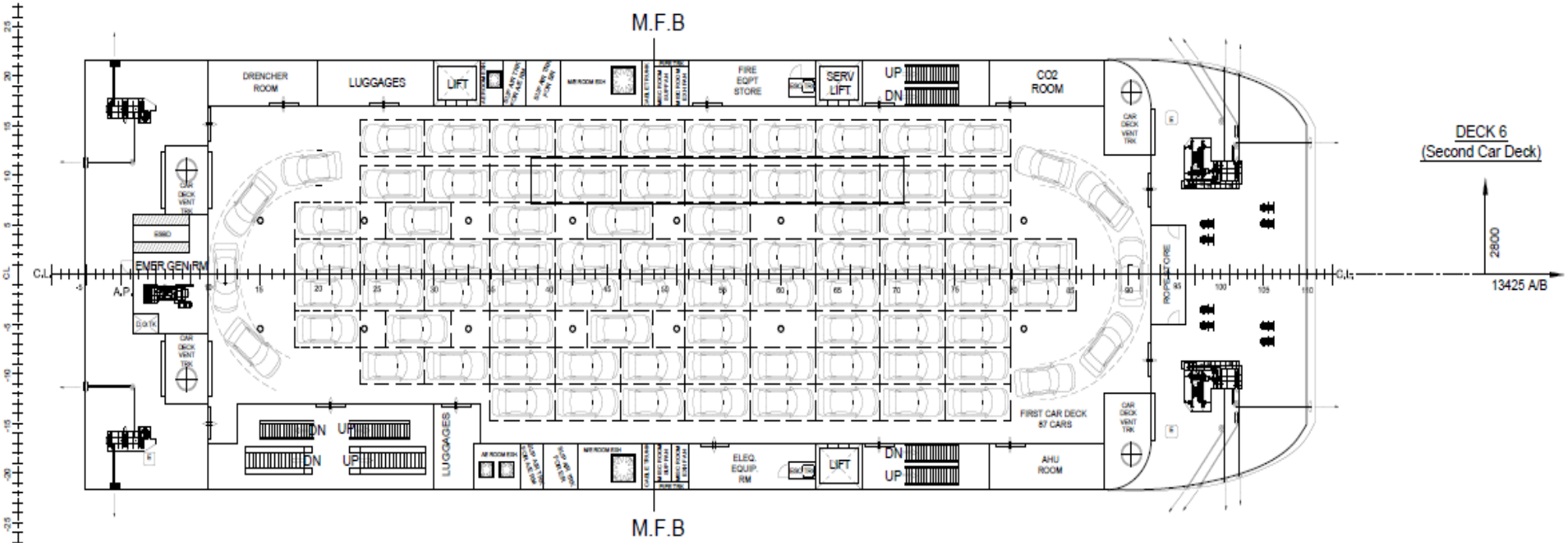
Ακολουθούν οι κατόψεις των καταστρωμάτων που περιγράψαμε παραπάνω:



Σχήμα 3.6: Deck 4 (First Car Deck)



Σχήμα 3.7: Deck 5



Σχήμα 3.8: Deck 6 (Second Car Deck)

3.3. Καταστρώματα Επιβατών

Τα υπόλοιπα δύο καταστρώματα του πλοίου, χρησιμοποιούνται για την ενδιαίτηση των επιβατών και του πληρώματος. Πάνω από αυτά υπάρχει το ανοιχτό κατάστρωμα καιρού, το οποίο φιλοξενεί μόνο χώρους εργασίας του πληρώματος. Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία (Π.Δ.44/ 2011; Ν.1637/ 1986) ,οι κλειστοί χώροι ενδιαίτησης επιβατών και πληρώματος δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να εκτείνονται πρώραθεν της φρακτής σύγκρουσης καθ' όλο το ύψος του πλοίου. Έτσι, επιλέγουμε στο υπό μελέτη πλοίο το πρωραίο σημείο των καταστρωμάτων αυτών να βρίσκεται στη φρακτή σύγκρουσης ή πρύμνηθεν. Η διάταξη αυτή φαίνεται και στο **Σχήμα 3.2**.

Σύμφωνα με τον κανονισμό 9 του κεφαλαίου II-2 της SOLAS (SOLAS 1990) αλλά και σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία (Π.Δ.20/ 2012), τα πλοία που μεταφέρουν πάνω από 36 επιβάτες πρέπει να φέρουν στις υπερκατασκευές κατάλληλες φρακτές που να χωρίζουν τους χώρους των επιβατών σε Κύριες Κατακόρυφες Ζώνες (Main Vertical Zones). Οι φρακτές αυτές (Main Fire Bulkheads) πρέπει να είναι κλάσης A-60 και σκοπό έχουν τον περιορισμό ενδεχόμενης πυρκαγιάς σε μία μόνο ζώνη. Το πλάτος και το μήκος των ζωνών, δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 48m και το εμβαδόν τους δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 1600m^2 σε κάθε κατάστρωμα. Επίσης, οι φρακτές που ορίζουν τις κατακόρυφες ζώνες, πρέπει να αποτελούν προέκταση των υδατοστεγών φρακτών που βρίσκονται κάτω από το κατάστρωμα στεγανών φρακτών. Με αυτά τα δεδομένα τοποθετούμε στο πρώτο κατάστρωμα ενδιαιτήσεων (First Passenger Deck) μια φρακτή στο frame 49, η οποία χωρίζει το κατάστρωμα σε δύο ζώνες και η οποία προεκτείνεται και στο άλλο ένα υπερκείμενο κατάστρωμα επιβατών. Τα μήκη και τα εμβαδά των κατακόρυφων ζωνών στα δύο καταστρώματα επιβατών, φαίνονται συνολικά στον παρακάτω πίνακα (Η ζώνη 2 βρίσκεται πρύμνηθεν και η ζώνη 1 πρώραθεν).

Πίνακας 3.1: Κύριες Κατακόρυφες Ζώνες

	Zone 2		Zone 1	
	L (m)	E (m^2)	L (m)	E (m^2)
First Passenger Deck	29,6	774,5	32,8	847,0
Second Passenger Deck	16,8	282,3	33,0	723,4

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθούμε στους κανονισμούς ενδιαίτησης που αναφέρονται στην ελληνική νομοθεσία και στους οποίους βασιστήκαμε για τη σχεδίαση των καταστρωμάτων επιβατών. Οι κανονισμοί αυτοί χωρίζονται σε κανονισμούς για του χώρους επιβατών (Π.Δ.44/ 2011) και σε κανονισμούς για τους χώρους πληρώματος (ILO 1949) , (Ν.1594/ 1986).

Κανονισμοί Ενδιαιτήσεως Επιβατών

- 4.4 Το υπό μελέτη πλοίο πρέπει να διαθέτει κλίνες σε ποσοστό τουλάχιστον 2% του αριθμού των επιβατών.
- 5.3 Τα ελεύθερα άκρα των εξωτερικών καταστρωμάτων φέρουν κιγκλίδωμα ή δρύφρακτο ύψους ενός (1) τουλάχιστον μέτρου.
- 6.1 Οι κλειστοί χώροι επιβατών βρίσκονται πρύμνηθεν της πρωραίας φρακτής σύγκρουσης καθ' όλο το ύψος του πλοίου.
- 6.2 Οι κλειστοί χώροι επιβατών έχουν καθαρό ύψος τουλάχιστον 2m.
- 9.(ε) Οι θύρες των θαλαμίσκων (καμπίνες) να ανοίγουν προς το εσωτερικού του θαλαμίσκου.
- 10.1.(β) Προβλέπονται δύο (2) τουλάχιστον δίκλινοι θαλαμίσκοι με ιδιαίτερο χώρο υγιεινής για επιβάτες με ειδικές ανάγκες.
- 10.1.(γ) Προβλέπεται ένας (1) τουλάχιστον κοινόχρηστος χώρος υγιεινής για άτομα με ειδικές ανάγκες.
- 12.1 Προβλέπεται ειδικά διαμορφωμένος χώρος για την παραμονή κατοικίδιων ζώων.
- 18 Στην περίπτωση λειτουργίας SELF SERVICE εστιατορίου, αυτό βρίσκεται διακεκριμένο από τον υπόλοιπο χώρο επιβατών.
- 19.2 Ο ελάχιστος αριθμός αποχωρητηρίων είναι 1 ανά 45 επιβάτες που δεν ενδιαιτώνται σε θαλαμίσκους.
- 19.3.(β) Η επιφάνεια κάθε αποχωρητηρίου είναι τουλάχιστον 1,2m^2.
- 19.3.(δ) Ο μισός αριθμός αποχωρητηρίων διατίθεται για γυναίκες ενώ δεν επιτρέπονται κοινοί προθάλαμοι ανδρών και γυναικών.
- 20.1 Για κάθε επιβάτη που αντιστοιχεί στα ανοικτά καταστρώματα πρέπει να διατίθεται ένα κάθισμα ή τμήμα πάγκου 0,5m.
- 20.1 Για κάθε επιβάτη που αντιστοιχεί στα κλειστά καταστρώματα πρέπει να διασφαλίζεται τουλάχιστον χώρος 1m^2.

Κανονισμοί Ενδιαιτήσεως Πληρώματος

- 5.3.(β) Το εμβαδόν των υπνοδωματίων που προορίζονται για το κατώτερο πλήρωμα δεν πρέπει να είναι κατώτερο από 3,75m^2 για ατομικά υπνοδωμάτια, 6m^2 για υπνοδωμάτια δύο ατόμων και 12m^2 για υπνοδωμάτια 4 ατόμων.
- 5.6 Τα υπνοδωμάτια αξιωματικών που δεν διαθέτουν ιδιαίτερο χώρο υποδοχής πρέπει να έχουν εμβαδόν τουλάχιστον 7,5m^2.
- 5.10 Οι ελάχιστες εσωτερικές διαστάσεις της κλίνης να είναι 1,98m X 0,8m.
- 6.1 Το εμβαδό στις τραπεζαρίες αξιωματικών και του κατώτερου πληρώματος να μην είναι μικρότερο από 1m^2 ανά άτομο για το προβλεπόμενο εκ της συνθέσεως πλήρωμα.
- 9.1 Πρέπει να υπάρχει αποχωρητήριο κοντά στη γέφυρα και στο μηχανοστάσιο για το πλήρωμα που εργάζεται εκεί.
- 10 Το ελεύθερο ύψος των χώρων ενδιαιτήσεων του πληρώματος πρέπει να είναι τουλάχιστον 1,98m.

Σε αρκετές περιπτώσεις παρουσιάστηκαν, κατά τη σχεδίαση, μεγάλες αποκλίσεις προς τα πάνω σε σχέση με τις ελάχιστες απαιτήσεις των κανονισμών. Οι αποκλίσεις αυτές είναι αποτέλεσμα προσωπικών σχεδιαστικών επιλογών, με γνώμονα την άνεση των επιβατών και την ευκολία σχεδίασης. Για θέματα σχεδίασης που δεν αναφέρονται στους παραπάνω κανονισμούς ακολουθήθηκε η διάταξη του πλοίου 'Blue Star Ithaki', για το οποίο διαθέτουμε το Σχέδιο Γενικής Διάταξης.

Όσον αφορά τις κλίμακες, αυτές είναι διαφόρων τύπων (άλλες είναι ευθείες και άλλες κάνουν αναστροφή 180° στο μέσο μεταξύ δύο καταστρωμάτων) ενώ όλες έχουν κλίση 35°. Για το πλάτος των κλιμάκων υπάρχουν διεθνείς κανονισμοί του IMO (ResA.757(18) 1993). Παρόλα αυτά, για τον υπολογισμό του πλάτους απαιτείται η ύπαρξη σχεδίου και μελέτης εγκατάλειψης του πλοίου, το οποίο δεν πραγματοποιήθηκε για το υπό μελέτη πλοίο. Έτσι, οι κλίμακες σχεδιάστηκαν με πλάτος 0,9m, το οποίο και κρίνεται ικανοποιητικό από άποψης κίνησης επιβατών.

Πρώτο Κατάστρωμα Επιβατών (Deck 7)

Το Πρώτο Κατάστρωμα επιβατών (First Passenger Deck) βρίσκεται σε ύψος 16,225m, έχει ύψος 2,8m και απέχει 2,8m από το Δεύτερο Κατάστρωμα Οχημάτων. Το κατάστρωμα αυτό, αποτελείται κυρίως από κλειστούς χώρους επιβατών, ενώ στην πρύμνη έχει τοποθετηθεί open deck από το frame 12 και πρύμνηθεν. Για τη διαρρύθμιση του καταστρώματος αυτού καθώς και των υπόλοιπων καταστρωμάτων επιβατών, ακολουθήθηκε κατά το δυνατόν η διάταξη των χώρων του πλοίου 'Blue Star Ithaki'. Η πρόσβαση σε αυτό γίνεται μέσω των ανελκυστήρων και των κλιμακοστασίων που έχουν περιγραφεί σε προηγούμενο υποκεφάλαιο. Για την πρόσβαση στο υπερκείμενο κατάστρωμα, έχουν τοποθετηθεί δύο συστήματα κλιμακοστασίων στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα χρήσης του ανελκυστήρα επιβατών που βρίσκεται στο πρωραίο μέρος. Η επιλογή αυτή έγινε έτσι ώστε να υπάρχει περισσότερος ελεύθερος χώρος στις πλευρές του πλοίου για την τοποθέτηση εξωτερικών χώρων στο Δεύτερο Κατάστρωμα Επιβατών. Ο ανελκυστήρας του πληρώματος όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο υποκεφάλαιο, έχει τοποθετηθεί σε θέση που να διευκολύνεται η μεταφορά προμηθειών από τα καταστρώματα οχημάτων, μέχρι τα ψηλότερα καταστρώματα επιβατών.

Ξεκινώντας από την πλώρη, έχουν τοποθετηθεί στο κατάστρωμα αυτό σαλόνι 'Α θέσεων, χώρος με fast food, αεροπορικές θέσεις, χώρος με bar και ανοιχτός χώρος επιβατών. Οι κλειστοί χώροι του καταστρώματος αυτού, μπορούν να φιλοξενήσουν 771 επιβάτες ενώ οι ανοιχτοί 156 επιβάτες. Στον χώρο υποδοχής έχουν τοποθετηθεί κάποια δωμάτια εργασίας για το πλήρωμα. Αποχωρητήρια για τους επιβάτες που ενδιαιτούνται στους παραπάνω χώρους, έχουν τοποθετηθεί στο μέσο του πλοίου.

Τέλος, στο κατάστρωμα αυτό έχουν τοποθετηθεί τα τέσσερα συστήματα εκτάκτου εγκατάλειψης του πλοίου (Marine Evacuation Systems). Αυτά βρίσκονται δύο στο πρωραίο και δύο στο πρυμναίο μέρος (στις δύο πλευρές του πλοίου). Επιλέγεται να

τοποθετηθούν συστήματα dual-chute της εταιρείας VIKING (VIKING 2006a). Μέσω αυτών υπάρχει η δυνατότητα εκκένωσης του σκάφους από 736 άτομα σε 30 λεπτά σε κάθε πλευρά. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή, πρέπει να βρίσκονται 10-18 m από την επιφάνεια της θάλασσας (το Πρώτο Κατάστρωμα Επιβατών απέχει 12,4m από το βύθισμα σχεδίασης).

Δεύτερο Κατάστρωμα Επιβατών (Deck 8)

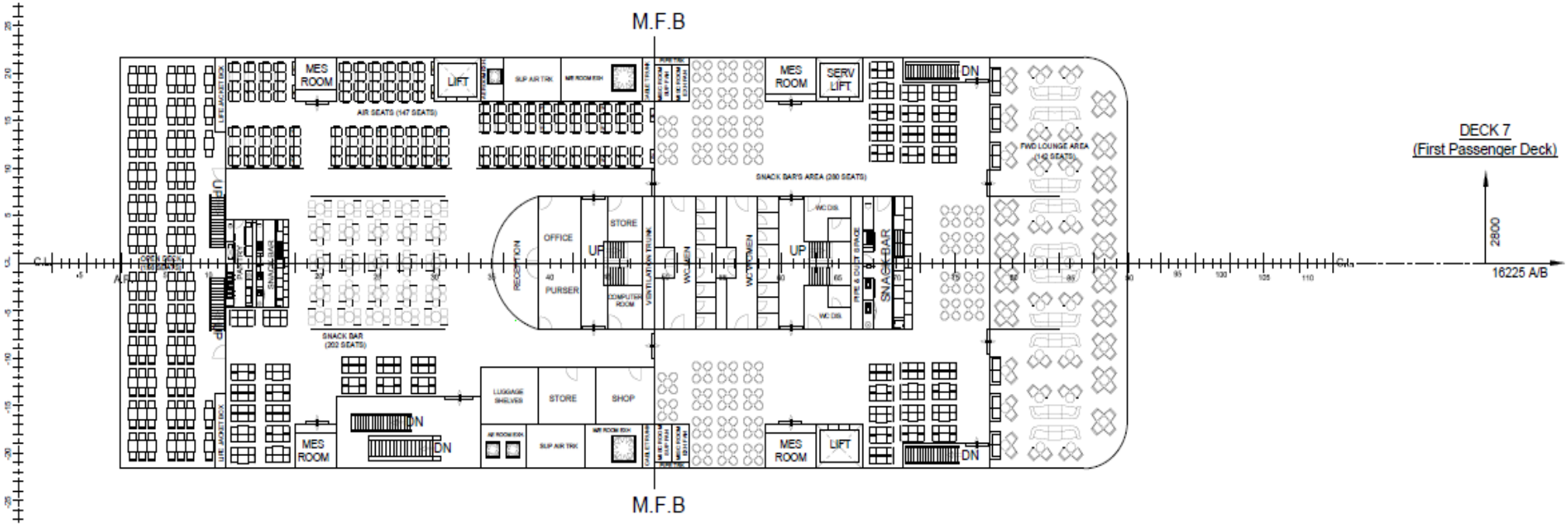
Το Δεύτερο Κατάστρωμα Επιβατών (Second Passenger Deck) βρίσκεται σε ύψος 29,025m, έχει ύψος 2,8m και αποτελείται από κλειστούς χώρους πληρώματος (χώροι εργασίας και καμπίνες), καμπίνες επιβατών και ανοιχτούς χώρους επιβατών. Από το Δεύτερο Κατάστρωμα Επιβατών και άνωθεν, τα δύο engine casings βρίσκονται στους εξωτερικούς χώρους του πλοίου. Το ανώτερο τους σημείο βρίσκεται στα 27,5m, 5,5m πάνω από το κατάστρωμα καιρού. Η πρόσβαση στο κατάστρωμα αυτό γίνεται μέσω των συστημάτων που περιγράφηκαν παραπάνω. Υπάρχει επίσης, η δυνατότατα πρόσβασης στο εν λόγω κατάστρωμα, μέσω εξωτερικών κλιμάκων που υπάρχουν στους ανοιχτούς χώρους στην πρύμνη του Πρώτου Καταστρώματος Επιβατών. Στην πλώρη υπάρχει η γέφυρα του πλοίου, η οποία εκτείνεται και πέρα από τις πλευρές του πλοίου, έτσι ώστε να υπάρχει ορατότητα προς την πρύμνη. Στη συνέχεια προς την πρύμνη, έχουν τοποθετηθεί οι χώροι εστίασης του πληρώματος και οι καμπίνες των αξιωματικών. Στο μέσο του πλοίου τοποθετήθηκαν οι καμπίνες του πληρώματος πρώραθεν της main fire bulkhead και οι καμπίνες των επιβατών πρύμνηθεν. Όλοι οι χώροι των καμπινών εκτείνονται κατά το εγκάρσιο μέχρι τα 8,4m, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης ανοιχτών χώρων επιβατών στις πλευρές του πλοίου. Στην πρύμνη του καταστρώματος αυτού υπάρχει open deck area με snack bar.

Συνολικά, μαζί με των αξιωματικών, υπάρχουν 41 διαθέσιμες κλίνες ενώ οι κλίνες των επιβατών είναι 28. Στους εξωτερικούς χώρους υπάρχει η δυνατότητα για τη φιλοξενία 344 επιβατών. Οι χώροι αυτοί διαθέτουν σκέπαστρο για τον ήλιο, ενώ διατίθενται αποχωρητήρια στην πρύμνη.

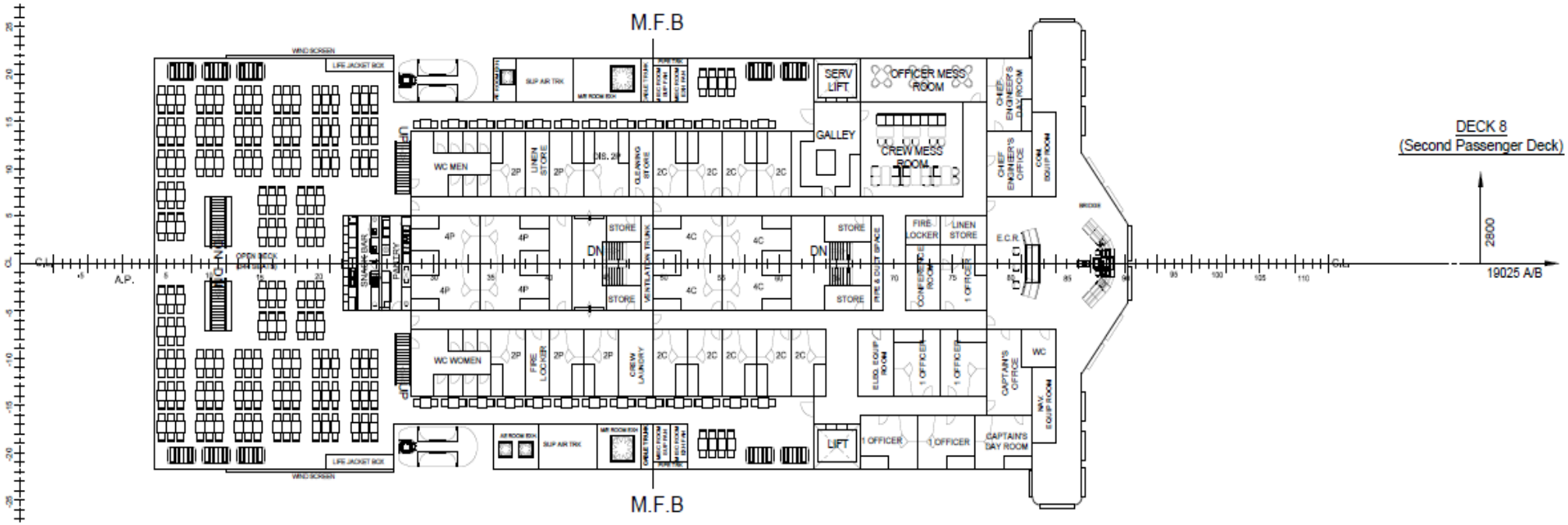
Τέλος, στο πρυμναίο μέρος έχει τοποθετηθεί μια σε κάθε πλευρά σωστική λέμβος. Οι λέμβοι αυτές, οι οποίες είναι τύπου MPC32 της εταιρείας SCHAT HARDING (SCHAT HARDING 2011), είναι ημί-ανοιχτού τύπου και μπορούν να μεταφέρουν 150 άτομα έκαστη. Επίσης, στο κατάστρωμα αυτό τοποθετούνται και πνευστές σωσίβιες σχεδίες (liferafts). Τα liferafts είναι τύπου 16DK της εταιρείας (VIKING 2006b) και μπορούν να μεταφέρουν 16 άτομα έκαστη.

Κατάστρωμα Καιρού (Deck 9)

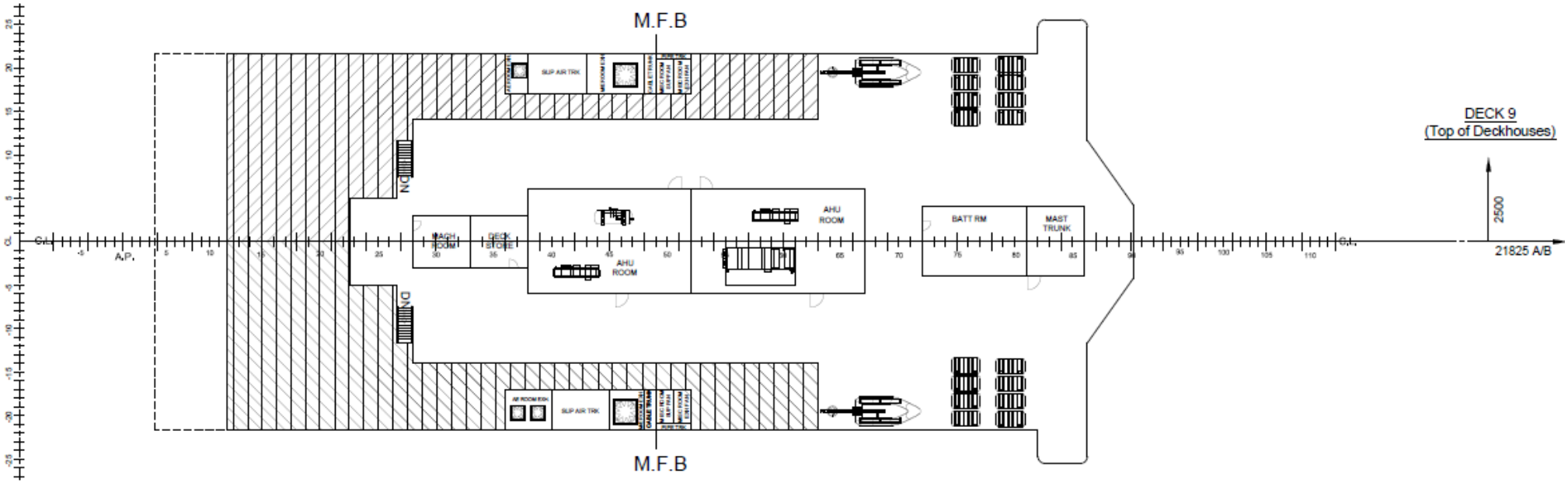
Το κατάστρωμα αυτό (Weather Deck) βρίσκεται σε ύψος 21,825m και είναι εκτεθειμένο εξ ολοκλήρου στις καιρικές συνθήκες. Είναι προσβάσιμο μόνο από το πλήρωμα μέσω εξωτερικών κλιμάκων που βρίσκονται στο ανοιχτό κατάστρωμα του Δεύτερου Καταστρώματος Επιβατών. Στο κατάστρωμα αυτό τοποθετούνται οι δύο βάρκες ταχείας διάσωσης (rescue boats) καθώς και πνευστές σωσίβιες σχεδίες (liferafts). Οι rescue boats είναι τύπου 470GRP1 της εταιρείας VIKING (VIKING 2006c), ενώ τα liferafts είναι τύπου 16DK της ίδιας εταιρείας (VIKING 2006b), όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Τέλος, στο κατάστρωμα αυτό έχουν τοποθετηθεί οι δύο υπομονάδες της κεντρικής μονάδας κλιματισμού (Air Handling Unit). Οι υπομονάδες αυτές αντιστοιχούν στους κλειστούς χώρους επιβατών, στις καμπίνες και στους χώρους εργασίας του πληρώματος.



Σχήμα 3.9: Deck 7 (First Passenger Deck)



Σχήμα 3.10: Deck 8 (Second Passenger Deck)

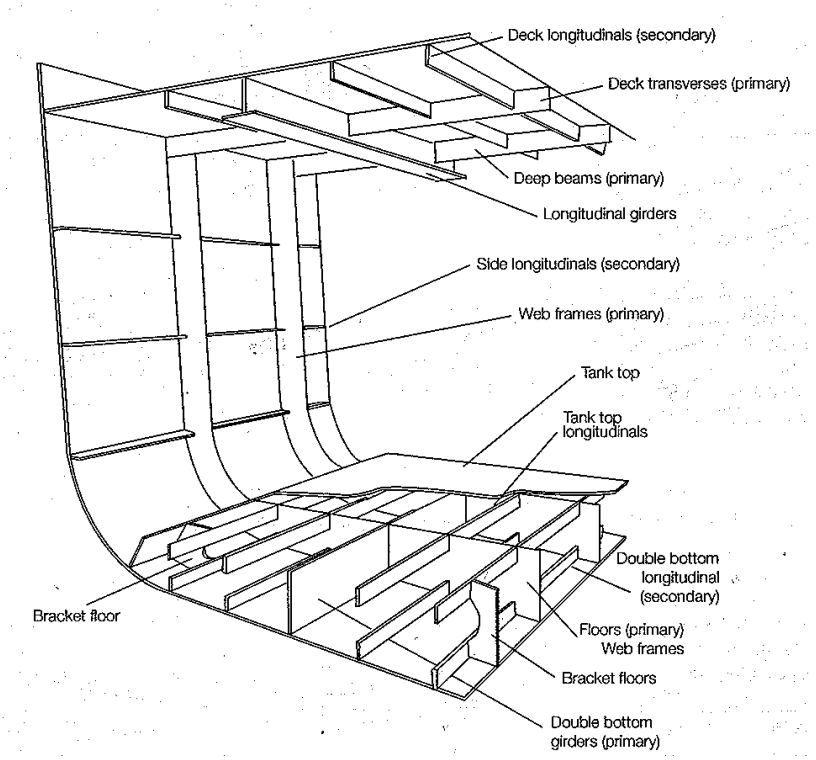


Σχήμα 3.11: Deck 9 (Weather Deck)

4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Το κεφάλαιο αυτό έχει ως αντικείμενο την προμελέτη της αντοχής του υπό μελέτη πλοίου, με σκοπό να γίνει δυνατή μια όσο το δυνατό πιο αξιόπιστη εκτίμηση για το βάρος της μεταλλικής κατασκευής του σκάφους. Λαμβάνοντας υπόψη ότι δεν υφίσταται όμοιο πλοίο με το υπό μελέτη, και προκειμένου να λάβουμε στοιχεία για τη μεταλλική κατασκευή, ο μόνος τρόπος είναι δια του καθορισμού του πάχους των ελασμάτων και των διαστάσεων των διαμήκων και εγκάρσιων κατασκευαστικών στοιχείων, από τα οποία θα προκύψουν και τα αναλογούντα βάρη του W_{ST}. Απώτερος σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι η μέγιστη δυνατή μείωση του W_{ST}, έχοντας εξασφαλίσει την απαιτούμενη αντοχή, έτσι ώστε να αυξήσουμε το Payload και να μειώσουμε το κόστος κατασκευής. Η αντοχή του σκάφους θα υπολογιστεί με βάση τους κανονισμούς του Γαλλικού Νηογνώμονα για ταχύπλοα πλοία (BV 2002). Οι κανονισμοί αυτοί προτιμήθηκαν έναντι των αντιστοίχων για συμβατικά πλοία (BV 2011) καθώς είναι οι μόνοι που αναφέρονται σε δίγαστρα πλοία, όπως το υπό μελέτη. Η μελέτη της αντοχής έγινε στο βύθισμα $T_{Scantling}$=4,5m. Σε ότι αφορά στα διαμήκη κατασκευαστικά στοιχεία (ενισχυτικά και ελάσματα) και προκειμένου να επισπευτεί η διαδικασία έγινε χρήση της εφαρμογής Marspeed του Γαλλικού Νηογνώμονα, η οποία διατίθεται ελεύθερα από το διαδίκτυο (VeriSTAR 2013). Για τα κύρια κατασκευαστικά στοιχεία (web frames, girders), έγινε αναλυτικός υπολογισμός βάσει των κανονισμών του νηογνώμονα. Τέλος, έγινε υπολογισμός για τις έδρες του διπύθμενου και του wet deck, τα pillars, τα μπρακέτα, τις φρακτές του χώρου επιβατών/οχημάτων καθώς και για τις στεγανές φρακτές των κυτών του πλοίου, κάτω από το κύριο κατάστρωμα. Σε όλους τους υπολογισμούς έχει χρησιμοποιηθεί ναυπηγικός χάλυβας υψηλής αντοχής AH40 με Yield Stress 390 N/mm^2, Young Modulus 206000 N/mm^2 και ειδικό βάρος 7,8 t/m^3.

Να σημειώσουμε, πως έχουμε επιλέξει διάμηκες σύστημα ενίσχυσης, όπως συνηθίζεται και στα ταχύπλοα Catamaran αντίστοιχου μεγέθους. Στη διαμήκη ενίσχυση, τοποθετούνται εγκάρσιοι ενισχυμένοι νομείς σε απόσταση συνήθως μεταξύ 1,2m και 2,4m καθώς και διαμήκη ενισχυτικά με μικρή ισαπόσταση. Στο υπό μελέτη πλοίο, η ισαπόσταση των ενισχυμένων νομέων (web frames) είναι 2,4m (3 κατασκευαστικοί νομείς). Στο **Σχήμα 4.1** παρουσιάζεται η τομή ενός πλοίου με διάμηκες σύστημα ενίσχυσης. Τέλος, σημειώνουμε πως έχουμε επιλέξει να συμμετέχει το περίβλημα της γάστρα μέχρι και το First Passenger Deck στη διαμήκη αντοχή του πλοίου. Οπότε το Strength Deck ορίζεται στα 16,225m. Τα κατασκευαστικά στοιχεία, τα οποία τελικά επιλέγονται, φαίνονται στο Σχέδιο Μέσης Τομής καθώς και στο σχέδιο Profile & Decks Plan, τα οποία παρατίθενται στα παραρτήματα ‘’Β’’ και ‘’Γ’’ αντίστοιχα.



Σχήμα 4.1: Διαμήκες Σύστημα Ενίσχυσης

4.1. Υπολογισμός ελασμάτων και δευτερευόντων διαμήκων ενισχυτικών

Όπως προαναφέρθηκε, με την εφαρμογή Marspeed (VeriSTAR 2013), η οποία βασίζεται στους κανονισμούς του γαλλικού νηογνώμονα (BV 2002), έγινε ο υπολογισμός όλων των διαμήκων κατασκευαστικών στοιχείων, εκτός από τα girders των καταστρωμάτων του υπό μελέτη πλοίου. Τα στοιχεία αυτά είναι τα ελάσματα των καταστρωμάτων, τα ελάσματα του περιβλήματος της γάστρας, τα διαμήκη ενισχυτικά των καταστρωμάτων και του περιβλήματος, καθώς και την κεντρική και τις πλευρικές σταθμίδες (center & side girders) που ενώνουν το First Car Deck με το Wet deck. Προκειμένου να εξαχθεί ένα αποτέλεσμα, το οποίο να προσομοιάζει σε μεγάλο βαθμό την πραγματική μορφή των ελασμάτων και των διαμήκων ενισχυτικών του πλοίου, εισήχθησαν στο Marspeed εφτά εγκάρσιες τομές κατά μήκος του πλοίου. Το σχέδιο των τομών λήφθηκε από τις γραμμές του πλοίου, οι οποίες έχουν προέλθει από το ερευνητικό πρόγραμμα CARGOXPRESS (CARGOXPRESS 2011). Η επεξεργασία των γραμμών αυτών θα περιγραφεί σε επόμενο κεφάλαιο.

Οι τομές έγιναν σε συγκεκριμένες αποστάσεις από την Α.Ρ. όπως φαίνεται παρακάτω:

- -2,4m (πρυμναίο άκρο του πλοίου)
- 9,0m
- 18,8m
- 25-45m (μία τομή που αντιπροσωπεύει το παράλληλο τμήμα. Δεχόμαστε πως οι φορτίσεις σε αυτό το τμήμα είναι ίδιες)
- 54,4m
- 63,3m
- 72,2m

Παρακάτω, εμφανίζονται τα βασικά δεδομένα που εισάγαμε στην εφαρμογή. Οι ορισμοί τους δίνονται στο Manual της εφαρμογής (VeriSTAR 2013) καθώς και στους κανονισμούς 'Rules for the Classification of High Speed Craft' του νηογνώμονα (BV 2002).

- L=74,1 m
- B=26,0 m
- B_{WL}=7,04 m
- C_B=0,525
- V=19 kn
- D=16,225 m
- $T_{Scantling}$=4,50 m
- S.W.B.M. (Hogging)=100000 kN*m
- S.W.B.M. (Sagging)=100000 kN*m

Για τις δύο καμπτικές ροπές, δεν υπήρχε η δυνατότητα υπολογισμού τους στη παρούσα φάση κι έτσι εισήχθησαν τα παραπάνω νούμερα. Κατά τον υπολογισμό των καταστάσεων φόρτωσης στο πρόγραμμα Aveva Calc & Hydro (Marine CalcM), σε μετέπειτα στάδιο της μελέτης, πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός τους. Διαπιστώθηκε πως τα πραγματικά νούμερα, είναι μικρότερα από αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή και έτσι δεν χρειάστηκε η επανεκτίμηση των αποτελεσμάτων.

Συγκεκριμένα, η μέγιστη καμπτική ροπή εμφανίζεται στην κατάσταση άφιξης πλήρους φορτίου του πλοίου (Full Load Arrival), είναι ίση με: BM_{MAX}=55672,5 kN*m και είναι ροπή τύπου Hogging. Ροπή τύπου Sagging, δεν εμφανίστηκε σε καμία από της καταστάσεις φόρτωσης. Βλέπουμε λοιπόν πως η επιλογή του μεγέθους των ροπών που κάναμε παραπάνω (S.W.B.M. (Hogging) & S.W.B.M. (Sagging)), υπερκαλύπτει τις πραγματικές εμφανιζόμενες ροπές στο πλοίο.

Μετά την εισαγωγή των παραπάνω δεδομένων ορίσαμε τα εξής χαρακτηριστικά για την κάθε εγκάρσια τομή:

- Τη θέση των ελασμάτων
- Το πάχος των ελασμάτων
- Το μήκος των ελασμάτων
- Την ισαπόσταση των ενισχυτικών
- Τον τύπο και το μέγεθος των ενισχυτικών
- Την ισαπόσταση των Web Frames

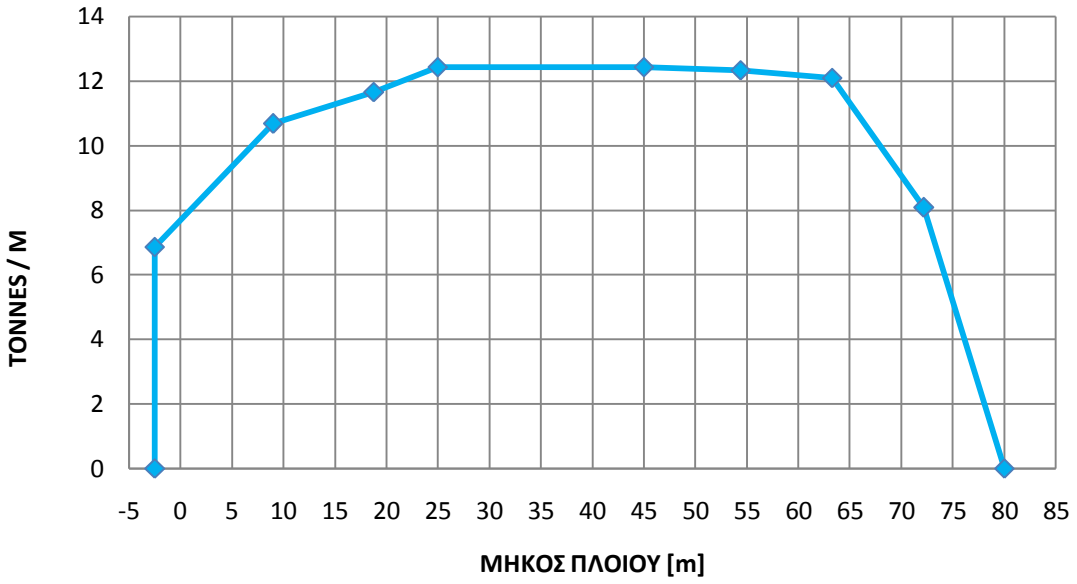
Τα Web Frames ορίστηκαν ανά 3 κατασκευαστικούς νομείς (2,4m). Το πάχος των ελασμάτων επιλέγεται βάσει του ελάχιστου που εμφανίζεται στο πρόγραμμα, συν το περιθώριο διάβρωσης. Τα περιθώρια διάβρωσης που λάβαμε από τον νηογνώμονα κυμαίνονται από 0mm έως 2mm για κάθε πλευρά του ελάσματος, ανάλογα με την περιοχή που βρίσκεται το έλασμα. Για τα τμήματα που δεν συμμετέχουν στη διαμήκη αντοχή, επιλέγουμε πάχος ελασμάτων 4mm. Για τα διαμήκη ενισχυτικά επιλέγουμε ισαπόσταση 600mm, όση είναι και η ισαπόσταση των διαμήκων κατασκευαστικών νομέων, εκτός από τα First Car Deck & Second Car Deck στα οποία ορίζεται μικρότερη ισαπόσταση για λόγους αντοχής. Οι διαστάσεις των ενισχυτικών επιλέγονται μέσα από τυποποιημένους πίνακες διαστάσεων ενισχυτικών τύπου Bulb Flat (DIN standards) βάσει της ελάχιστης Ροπής Αντίστασης (section modulus) που υπολογίζει το πρόγραμμα. Στα ενισχυτικά, γίνεται ομοίως με τα ελάσματα προσαύξηση για το περιθώριο διάβρωσης. Στα δύο καταστρώματα οχημάτων δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός της ακριβούς φόρτισης από τα αυτοκίνητα και τα φορτηγά. Για τον λόγο αυτό, η εφαρμογή Marspeed (VeriSTAR 2013) δεν μπορεί να υπολογίσει τα ελάχιστα πάχη ελασμάτων και μεγέθη ενισχυτικών. Έτσι, τα κατασκευαστικά αυτά στοιχεία λήφθηκαν ίδια με υπαρκτό επιβατηγό πλοίο, το οποίο δύναται να μεταφέρει οχήματα ίδιου τύπου και βάρους ανά άξονα, του οποίου διαθέταμε το σχέδιο μέσης τομής.

Αρχικά, υπολογίστηκαν τα ελάσματα/ενισχυτικά της εγκάρσιας τομής που αντιπροσωπεύει το παράλληλο τμήμα. Στη συνέχεια, έγιναν οι υπολογισμοί για τις υπόλοιπες τομές όπου έγιναν μειώσεις ή αυξήσεις αντίστοιχα στα πάχη και στα μεγέθη των ελασμάτων/ενισχυτικών όπου χρειάστηκε. Οι αυξομειώσεις αυτές προκύπτουν από μεταβολές των ολικών και των τοπικών φορτίσεων (global loads, local loads), των επιταχύνσεων καθώς και του slamming όσο προχωράμε προς τα άκρα του πλοίου. Οι εγκάρσιες τομές που προέκυψαν από την εφαρμογή, με τα ελάσματα και τα ενισχυτικά που επιλέξαμε, παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα ‘’Δ’’. Στον παρακάτω **Πίνακα 4.1** παρουσιάζονται συνοπτικά τα βάρη που προέκυψαν.

Πίνακας 4.1: Αποτελέσματα Εφαρμογής Marspeed

Distance from A.P. [m]	Weight (t/m)	KG (m)
-2,4	6,857	8,798
9	10,676	8,637
18,8	11,653	8,332
25	12,433	8,034
45	12,433	8,034
54,4	12,336	8,346
63,3	12,099	8,661
72,2	8,082	7,700

Στο παρακάτω σχήμα, φαίνεται η κατανομή του βάρους κατά μήκος του πλοίου σε τόνους ανά μέτρο, όπως αυτή προέκυψε από τα δεδομένα του **Πίνακα 4.1**. Από το σχήμα αυτό και με ολοκλήρωση με τη μέθοδο των τραπεζίων προκύπτει το ολικό βάρος που υπολογίζεται από την εφαρμογή Marspeed (VeriSTAR 2013) για τα διαμήκη κατασκευαστικά στοιχεία. Με θεώρημα ροπών, αφού είναι γνωστή η θέση κάθε τομής, προκύπτει και το *LCG* του συνολικού βάρους. Επίσης, προκύπτει και το κέντρο βάρους *VCG* αφού έχουμε δεδομένο από το πρόγραμμα το *KG* κάθε τομής.



Σχήμα 4.2: Κατανομή Βάρους Ελασμάτων και Δευτερευόντων Διαμήκων Κατασκευαστικών Στοιχείων

Τελικώς λαμβάνουμε:

$W_{Marspeed}$ [t]	LCG [m]	VCG [m]
855,92	37,66	8,31

4.2. Κύρια Κατασκευαστικά Στοιχεία

Τα κύρια κατασκευαστικά στοιχεία (primary supporting members) αποτελούνται από τα girders, τα web frames, τα pillars και τις φρακτές (bulkheads). Τα web frames (ενισχυμένοι νομείς) είναι εγκάρσια ενισχυτικά που τοποθετούνται ανά 2,4m στην πλευρά του πλοίου, καθώς και κάτω από τα καταστρώματα (transverse deck beams-εγκαρσιώματα). Τα web frames προεκτείνονται και κάτω από το διπύθμενο, όπου σχηματίζουν είτε ανοιχτές είτε συμπαγείς έδρες (open και solid floors αντίστοιχα). Τα girders, είναι διαμήκη ενισχυτικά αυξημένης αντοχής που τοποθετούνται κάτω από τα καταστρώματα και στηρίζουν τα εγκαρσιώματα. Τα girders, στηρίζονται με τη σειρά τους είτε στα υποστηλώματα (pillars) είτε σε μεταλλικές φρακτές. Για το υπό μελέτη πλοίο έχει επιλεχθεί η τοποθέτηση δύο σειρών girders και αντίστοιχα δύο σειρών pillars από το deck 4 (First Car Deck) έως το deck 7 (First Passenger Deck) και δύο girders στα εναπομείναντα καταστρώματα, τα οποία και θα στηρίζονται σε μεταλλικές φρακτές. Οι έδρες τοποθετούνται στο διπύθμενο και έχουν πάχος όσο και τα web frames της πλευράς του πλοίου πάνω από το διπύθμενο. Τέλος, τοποθετούνται και έδρες ανάμεσα στο First Car Deck και στο Wet Deck με ισαπόσταση 2,4m.

Webs & Girders

Τα δύο αυτά κατασκευαστικά στοιχεία (webs & girders) θα υπολογιστούν βάσει των αναλυτικών τύπων που υπάρχουν στο Γαλλικό Νηογνώμονα. Οι τύποι αυτοί περιέχονται στο κείμενο ''Rules for the Classification of High Speed Craft'' (BV 2002). Αρχικά, έγινε η παραμετροποίηση του μεγαλύτερου μέρους του Chapter 6 'Hull Structure' στο πρόγραμμα Microsoft Excel (Office Excel 2007). Η διαδικασία αυτή υπήρξε ιδιαίτερα χρονοβόρα, διότι παρουσιάζονται πολύπλοκοι μαθηματικοί τύποι για κάθε μέρος του πλοίου, και μεγέθη τα οποία ήταν δύσκολο να οριστούν ή δεν υπήρχαν δεδομένα για το υπό μελέτη πλοίο. Μόλις πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή των αρχικών δεδομένων στο excel έγινε σύγκριση μερικών αρχικών αποτελεσμάτων, όπως η εγκάρσια επιτάχυνση στο *LCG* ή το σημαντικό ύψος κύματος, με τα αντίστοιχα του Marspeed. Η σύγκριση ήταν επιτυχής καθώς οι διαφορές ήταν της τάξης λάθους στρογγυλοποίησης.

Στη συνέχεια, για να υπολογίσουμε τις απαιτούμενες διαστάσεις των girders και των webs σε κάθε σημείο του πλοίου, εισάγαμε κάθε φορά στο Excel (Office Excel 2007) τα χαρακτηριστικά που αναφέρουμε παρακάτω. Οι κανονισμοί που αφορούν τα δύο αυτά κατασκευαστικά στοιχεία περιέχονται στο υποκεφάλαιο 3.7.9. των κανονισμών (BV 2002).

- Coefficient [m]
- Span of Primary Supporting Members [S]
- Surface Width [b]
- Load [P]
- Allowable Stress [σ_{am}]

Ως αποτέλεσμα λαμβάνουμε το ελάχιστο απαιτούμενο Section Modulus [*Z*] και το Shear Area [A_t] του εκάστοτε στοιχείου σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις:

$$Z = 1000 \cdot \frac{S^2 \cdot b \cdot p}{m \cdot \sigma_{am}} \qquad 6.1$$

$$A_t = 5 \cdot \frac{S \cdot b \cdot p}{\tau_{am}} \qquad 6.2$$

Τα μεγέθη που αλλάζουν δραστικά στα διάφορα μέρη του πλοίου και επηρεάζουν την ροπή αντίστασης *Z* και την επιφάνεια διάτμησης A_t είναι το ανυποστήρικτο μήκος *S* και η πίεση *P*. Το ανυποστήρικτο μήκος, εξαρτάται από τον τρόπο στήριξης και τη διάταξη που έχουμε επιλέξει για τα webs και τα girders. Οι πιέσεις εξαρτώνται από τη θέση του ενισχυτικού στο πλοίο (πλευρά, κατάστρωμα επιβατών, υπερκατασκευή κλπ). Στη συνέχεια, χρησιμοποιούμε το πρόγραμμα 'ABS Stiffeners' του Αμερικάνικου Νηογνώμονα ABS για τον υπολογισμό των διαστάσεων των girders και των webs με δεδομένο το *Z* και το A_t. Πλέον, με δεδομένο το εμβαδό του ενισχυτικού, υπολογίζουμε το βάρος του βάσει του ολικού μήκους του και του ειδικού βάρους του χάλυβα. Τέλος, από το σχέδιο Γενικής Διάταξης, υπολογίζουμε το *LCG* και το *VCG* του κάθε στοιχείου. Στον **Πίνακα 4.2** παρουσιάζονται οι ελάχιστες απαιτήσεις του νηογνώμονα, ενώ στον **Πίνακα 4.3** τα κατασκευαστικά στοιχεία που τελικά επιλέχθηκαν. Για την τελική επιλογή βασιστήκαμε στις ελάχιστες απαιτήσεις του νηογνώμονα, σε κατασκευαστικές απαιτήσεις (π.χ. web αρκετά μεγαλύτερο από τα διαμήκη ενισχυτικά) καθώς και σε υπάρχοντα πλοία που είναι σχεδιασμένα να μεταφέρουν ίδιο τύπο οχημάτων και βάρους ανά άξονα στα καταστρώματα οχημάτων, των οποίων διαθέταμε το σχέδιο μέσης τομής.

Πίνακας 4.2: Ελάχιστες Απαιτήσεις Νηογνώμονα

	Section Modulus (cm^3)	Shear Area (cm^2)
Weather Deck Girder	234,8	12,7
Weather Deck Web	234,8	12,7
2nd Pass Girder	543,9	24,7
2nd Pass Web	467,5	18,4
1st Pass Girder	624,9	25,2
1st Pass Web (1/2)	467,5	18,4
1st Pass Web (2/2)	519,3	19,3
2nd Car Girder	989,3	36,2
2nd Car Web	783,1	28,1
1st Car Web	3691,9	67,9
Platform Girder	1297,1	38,4
Platform web	903,7	26,2
Side Frame DB – 1st Car	1652,9	31,7
Side Frame 1st Car – 2nd Car	821,8	26,7
Side Frame Deck 2nd Car – 1st Pass	472,7	17,2
Side Frame Deck 1st Pass – 2nd Pass	238,3	9,8
Side Frame Deck 2nd Pass – Weather Deck	238,3	9,8

Πίνακας 4.3: Τελικά Κατασκευαστικά Στοιχεία

	Web Type	Web Area (cm^2)	Section Modulus (cm^3)	Shear Area (cm^2)	Total Weight (t)	LCG (m)	LM (tm)	VCG (m)	VM (tm)
Weather Deck Girder	220x7 + 100x10	25,4	294,3	16,03	2,57	36,850	94,76	21,715	55,84
Weather Deck Web	220x7 + 100x10	25,4	294,3	16,03	8,34	36,850	307,51	21,715	181,21
2nd Pass Girder	320x9 + 130x10	41,8	634,7	29,70	4,28	34,850	149,08	18,865	80,70
2nd Pass Web	320x7 + 100x10	32,4	503,1	23,10	13,92	34,850	485,11	18,865	262,60
1st Pass Girder	340x9 +130x10	43,6	685,0	31,50	4,49	36,480	163,76	16,060	72,09
1st Pass Web (1/2)	320x7 + 100x10	32,4	503,1	23,10	6,96	36,480	253,90	16,060	111,78
1st Pass Web (2/2)	340x7 + 100x10	33,8	543,6	24,50	7,26	36,480	264,87	16,060	116,61
2nd Car Girder	400x10 + 180x10	58,0	1062,2	41,00	7,60	39,460	299,91	13,225	100,51
2nd Car Web	400x8 + 150x10	47,0	893,38	32,80	25,43	39,460	1003,36	13,225	336,28
1st Car Web	740x10 +200x20	114,0	3801,0	76,00	33,61	38,640	1298,76	8,060	270,91
Platform Girder	400x10+180x10	58,0	1439,6	49,44	7,53	37,050	279,14	5,290	39,86
Platform web	400x8 + 150x10	47,0	953,1	32,80	9,90	38,640	382,47	5,290	52,36
Side Frame DB – 1st Car	600x6 + 150x12	54	1777,5	36,72	25,95	37,670	977,54	5,500	142,73
Side Frame 1st Car – 2nd Car	380x8 + 130x10	43,3	879,6	31,20	11,17	41,230	460,54	10,92	121,98
Side Frame Deck 2nd Car – 1st Pass	300x7 + 100x10	32	519,6	21,70	3,52	38,560	135,73	14,65	51,57
Side Frame Deck 1st Pass – 2nd Pass	190x7 + 100x10	23,2	289,2	14,00	2,65	39,800	105,47	17,63	46,72
Side Frame Deck 2nd Pass – Weather Deck	190x7 +100x10	23,2	289,2	14,00	2,54	36,040	91,54	20,43	51,89

Από τον παραπάνω πίνακα υπολογίζουμε το συνολικό βάρος των webs και των girders καθώς και το κέντρο βάρους τους.

$W_{webs\&girders}$ [t]	LCG [m]	VCG [m]
172,54	37,98	11,92

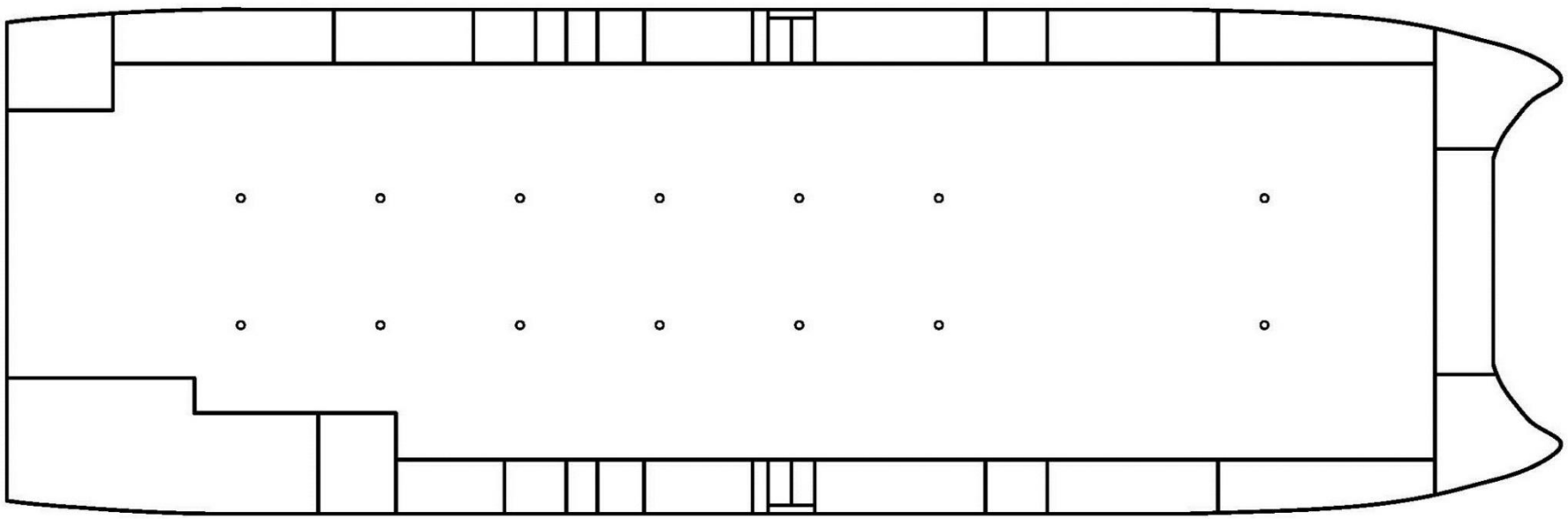
Pillars

Τοποθετήθηκαν δύο σειρές pillars, σε απόσταση 3,25m από το διαμήκη άξονα συμμετρίας του First Car Deck και ανά 3 web frames (7,2m). Για τα pillars αυτά αφέθηκε χώρος 50cm ανάμεσα στα lanes των φορτηγών. Στο πρωραίο μέρος του καταστρώματος έχουν αφαιρεθεί κάποια pillars, έτσι ώστε να είναι δυνατή η αναστροφή των φορτηγών κατά την είσοδο/έξοδο τους. Στα καταστρώματα επιβατών δεν τοποθετήθηκαν pillars, καθώς η στήριξη των girders και των υπερκείμενων καταστρωμάτων γίνεται με μεταλλικά στοιχεία (φρακτές). Η ισαπόσταση τους κατά το εγκάρσιο και ο αριθμός τους κατά το διάμηκες λήφθηκαν έτσι ώστε να μειωθεί κατά το δυνατόν το ανυποστήρικτο μήκος των girders και των webs και κατ' επέκταση η απαιτούμενη ροπή αντίστασης. Στο **Σχήμα 4.3** φαίνεται η διάταξη των pillars στο First Car Deck.

Για τα pillars επιλέγουμε μεταλλικούς σωλήνες εξωτερικής διαμέτρου 21,9cm (τυποποιημένη κατασκευαστική διάσταση 8,625 ιντσών με πάχος 7,11mm) στο First Car Deck και 16,8cm (τυποποιημένη κατασκευαστική διάσταση 6,625 ιντσών με πάχος 8,18mm) στο Second Car Deck. Έχοντας επιλέξει τις διαστάσεις των pillars και γνωρίζοντας τον αριθμό τους, μπορούμε να υπολογίσουμε το βάρος τους. Το κέντρο βάρους τους επιλέγεται περίπου στο μέσο του πλοίου.

Τελικά:

$W_{pillars}$[t]	LCG [m]	VCG [m]
6,98	35,00	13,00



Σχήμα 4.3: Διάταξη Pillars First Car Deck

Floors

Τα floors (έδρες) τοποθετούνται στο διπύθμενο κάθε 3 κατασκευαστικούς νομείς (2,4m). Αν βρίσκονται μέσα σε δεξαμενή (open floors) διαθέτουν ανοίγματα, έτσι ώστε να επιτρέπεται η ελεύθερη ροή του υγρού ή η πρόσβαση του πληρώματος, ενώ αν αποτελούν όριο δεξαμενής είναι συμπαγείς έδρες (solid floors). Το πάχος τους έχει επιλεγεί ίσο με το πάχος των side frames που ξεκινάνε από το ύψος του διπύθμενου (6mm). Για να υπολογιστεί το συνολικό τους βάρος, μετρήθηκε το εμβαδόν τους από τις αντίστοιχες εγκάρσιες τομές, καθώς και ο αριθμός τους. Ακολούθως, από το Σχέδιο Μέσης τομής υπολογίστηκε το *VCG* ενώ από το Σχέδιο Γενικής Διάταξης το *LCG*. Για τις έδρες του Wet Deck επιλέχθηκε πάχος ελάσματος 4mm και ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία για τη μέτρηση του βάρους και τον υπολογισμό του κέντρου βάρους.

Συνολικά, προέκυψε και για τις δύο κατηγορίες εδρών:

W_{floors}[t]	LCG [m]	VCG [m]
34,55	37,32	3,15

Bulkheads

Οι φρακτές (bulkheads) είναι τα μεταλλικά χωρίσματα που βρίσκονται είτε στο κύτος κάτω από το First Car Deck (bulkhead deck) είτε στις υπερκατασκευές πάνω από το First Car Deck.

Below Bulkhead Deck

Οι φρακτές που βρίσκονται κάτω από το First Passenger Deck, είναι εγκάρσιες υδατοστεγείς φρακτές και περιλαμβάνουν την Collision Bulkhead, τις φρακτές του μηχανοστασίου και άλλες 5 εγκάρσιες φρακτές, οι οποίες χωρίζουν το κύτος του πλοίου σε 9 διαμερίσματα (σε κάθε ημιγάστρα). Επιλέγεται να έχουν πάχος 6mm, όσο είναι και το πάχος των side frames και των εδρών που βρίσκονται στο διπύθμενο. Ύστερα από τη μέτρηση του εμβαδού τους από το Σχέδιο Μέσης Τομής, υπολογίζεται το βάρος τους και με θεώρημα ροπών (βάσει της διαμήκους θέσης του) το κέντρο βάρους τους. Τελικώς έχουμε:

$W_{BH\ below}$[t]	LCG [m]	VCG [m]
53,42	39,30	4,12

Above Bulkhead Deck

Οι φρακτές που βρίσκονται πάνω από το Πρώτο Κατάστρωμα Οχημάτων τοποθετούνται για την οριοθέτηση κάποιων κυρίων χώρων, όπως τα κλιμακοστάσια, οι ανελκυστήρες, οι τουαλέτες, τα casings και τα δωμάτια του Air-Condition. Επίσης ως φρακτές θεωρούνται η προέκταση της φρακτής σύγκρουσης στα καταστρώματα οχημάτων, καθώς και η φρακτή πυρασφάλειας. Τέλος, έχει επιλεχθεί η τοποθέτηση φρακτών σε κάποιους χώρους επιβατών για τη στήριξη των girders και τη μείωση του ανυποστήρικτου μήκους τους. Τα χωρίσματα των χώρων άνωθεν του First Car Deck που δεν είναι όλα μεταλλικά και υπολογίζονται μέσω του βάρους εξοπλισμού και ενδιαίτησης. Για τα μεταλλικά χωρίσματα των χώρων στα καταστρώματα ενδιαίτησης επιλέγεται πάχος 4mm, ενώ η θέση τους φαίνεται στο σχέδιο Profile&Decks που επισυνάπτεται στο παράρτημα ''Γ''. Για τη μέτρηση του βάρους τους, μετράται το μήκος τους μέσω του παραπάνω σχεδίου και μέσω του ύψους και του πάχους τους υπολογίζεται ο όγκος τους και το κέντρο βάρος τους. Με γνωστό το ειδικό βάρος του χάλυβα υπολογίζουμε τελικώς:

$W_{BH\ above}$[t]	LCG [m]	VCG [m]
74,74	41,11	15,42

Brackets & Others

Το βάρος των μπρακέτων που χρησιμοποιούνται για την ένωση των pillars με τα web και τα girders θεωρείται ως το 3% του βάρους των webs και των girders. Επίσης, έχουμε ένα βάρος της τάξης του 7% του βάρους των webs και των girders, για τυχόν μεταλλικά στοιχεία που δεν έχουν υπολογιστεί. Το κέντρο βάρους λήφθηκε ίδιο με αυτό των webs & girders. Και για τις δύο αυτές κατηγορίες έχουμε:

$W_{brackets\ \&\ Others}$ [t]	LCG [m]	VCG [m]
17,25	37,98	11,92

4.3. Συνολικό βάρος

Τα βάρη που υπολογίστηκαν παραπάνω παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.4: Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής

	Weight (t)	LCG (m)	VCG (m)
Ελάσματα & Δευτερεύοντα Διαμήκη Ενισχυτικά	855,92	37,66	8,31
Webs & Girders	172,54	37,98	11,92
Brackets&Others	17,25	37,98	11,92
Pillars	6,98	35,00	13,00
Floors	34,55	37,32	3,15
Bulkheads Below	55,01	39,3	4,12
Bulkheads Above	74,74	41,11	15,42
Σύνολο	1216,99	37,93	8,98

Έτσι, τελικώς:

W_{ST} [t]	LCG [m]	VCG [m]
1216,99	37,93	8,98

5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΡΟΥΣ ΚΕΝΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ (LS)

Στο παρόν κεφάλαιο συγκεντρώνονται όλα τα βάρη που απαρτίζουν το βάρος του κενού σκάφους (Lightship). Αυτά αποτελούνται από το βάρος μεταλλικής κατασκευής W_{ST}, το βάρος εξοπλισμού W_{OT}, το βάρος Ενδιαίτησης W_{ACC} και το βάρος μηχανολογικής εγκατάστασης W_M. Τα επιμέρους στοιχεία της μεταλλικής κατασκευής και τα αντίστοιχα βάρη τους έχουν υπολογιστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Για τον υπολογισμό των επιμέρους κατηγοριών που απαρτίζουν τα W_{OT}, W_{ACC} και W_M θα βασιστούμε στη διδακτορική διατριβή του Σωτήρη Σκούπα με τίτλο 'Ανάπτυξη μεθοδολογίας για τη μελέτη και σχεδίαση–βελτιστοποίηση επιβατηγών-οχηματαγωγών πλοίων νέας τεχνολογίας' (Σκούπας 2011). Στη διατριβή αυτή, παρουσιάζονται διάφοροι εμπειρικοί τύποι για τον υπολογισμό των βαρών του κενού σκάφους. Να σημειώσουμε πως το διάμηκες κέντρο βάρους *LCG* κάθε βάρους, μετρήθηκε από το Σχέδιο Γενικής Διάταξης. Για κάθε μηχάνημα/βάρος που βρίσκεται επί καταστρώματος και δεν υπάρχουν αναλυτικά στοιχεία, το καθ' ύψος κέντρο βάρους *VCG*, υπολογίστηκε στο 1/3 του ύψους του καταστρώματος.

Στη συνέχεια, αναλύονται οι τρεις κατηγορίες βαρών που απαρτίζουν το Lightship.

5.1. Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής (Wst)

Παρακάτω παρουσιάζονται οι επιμέρους κατηγορίες βαρών, όπως αυτές υπολογίστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Πίνακας 5.1: Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής

	Weight (t)	LCG (m)	VCG (m)
Ελάσματα & Δευτερεύοντα Διαμήκη Ενισχυτικά	855,92	37,66	8,31
Webs & Girders	172,54	37,98	11,92
Brackets&Others	17,25	37,98	11,92
Pillars	6,98	35,00	13,00
Floors	34,55	37,32	3,15
Bulkheads Below	53,42	39,3	4,12
Bulkheads Above	74,74	41,11	15,42
Σύνολο	1215,4	37,93	8,98

Τέλος, θα κάνουμε μια αύξηση του τελικού βάρους της μεταλλικής κατασκευής, για περιθώριο λάθους, ασφαλείας και τυχών κατασκευαστικών στοιχείων που δεν υπολογίστηκαν. Πραγματοποιούμε λοιπόν μια αύξηση της τάξης 5%, ώστε να προκύψει το τελικό βάρος της μεταλλικής κατασκευής.

Τελικώς έχουμε:

W_{ST} [t]	LCG [m]	VCG [m]
1276,2	37,97	9,00

5.2. Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης (W_M)

Η μηχανολογική εγκατάσταση του πλοίου θεωρείται ότι αποτελείται από τις κύριες μηχανές, τους μειωτήρες, τους άξονες, τις έλικες, τις ηλεκτρογεννήτριες και λοιπά βοηθητικά μηχανήματα. Οι μαθηματικοί τύποι που χρησιμοποιούνται παρακάτω αναφέρονται στη διδακτορική διατριβή που αναφέραμε παραπάνω (Σκούπας 2011).

Κύρια Προωστήρια Εγκατάσταση

Όπως θα παρουσιαστεί αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο, έχουμε επιλέξει δύο κύριες μηχανές, Wärtsilä 16V26 (Wärtsilä 2013a), συνολικής ισχύος 8160 kW και συνολικού βάρους 63,8 t. Το κέντρο βάρους τους υπολογίζεται από το Σχέδιο Γενικής Διάταξης και το σχέδιό τους, το οποίο λάβαμε από τον κατασκευαστή.

$W_{M.E.}$ [t]	LCG [m]	VCG [m]
63,8	35	3,28

Μειωτήρας

Επιλέγουμε για μειωτήρες τους SV75 της Wärtsilä (Wärtsilä 2013b), οι οποίοι αντέχουν φορτίο έως και 5,2 MW και βάρους 10 t έκαστος. Το κέντρο βάρους τους υπολογίζεται από το Σχέδιο Γενικής Διάταξης και το σχέδιό τους το οποίο λάβαμε από τον κατασκευαστή.

W_G [t]	LCG [m]	VCG [m]
20	29	2,30

Άξονας

Για μήκος άξονα L_{SH} =25m, όπως μετρείται από το σχέδιο γενικής διάταξης, και *SHP*=90%*BHP* = 3672kW, έχουμε:

$$W_{SH} = (0,096 * SHP - 33,79) * L_{SH} = 8,1t \qquad 5.1$$

Για το συνολικό βάρος και των δύο αξόνων έχουμε:

W_{SH} [t]	LCG [m]	VCG [m]
16,2	14	1,17

Έλικα

Για τη διάμετρο της έλικας όπως θα φανεί σε επόμενο κεφάλαιο, έχουμε επιλέξει D_{PR} =2,2m, η οποία είναι και η μέγιστη δυνατή βάσει του σχεδίου των γραμμών του πλοίου. Έτσι έχουμε:

$$W_{PR} = (0,127 * D_{PR})^{2,852} = 1,2t \qquad 5.2$$

Για το συνολικό βάρος των 2 ελίκων έχουμε:

W_{PR} [t]	LCG [m]	VCG [m]
2,4	2	1,18

Κύρια Ηλεκτρογεννήτρια

Η απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς του πλοίου για συνολική εγκατεστημένη ισχύ P_{ME}=8160kW, υπολογίζεται όπως φαίνεται παρακάτω:

$$P_{EL} = 0,175 * P_{ME}{}^{0,831} = 311,64kW \qquad 5.3$$

Στο υπό μελέτη πλοίο έχουν τοποθετηθεί 3 ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη, το καθένα εκ των οποίων είναι ικανό να καλύψει την απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύ του πλοίου. Επιλέγουμε ως ηλεκτρογεννήτρια, την MAN L16/24 (MAN Diesel & Turbo 2013), με ηλεκτρική ισχύ στο MCR της: $P_{EL} = 428kW$

Για τα 3 ζεύγη συνολικά έχουμε:

W_{EL} [t]	LCG [m]	VCG [m]
28,5	23,7	3,50

Βοηθητικά Μηχανήματα

Το βάρος των βοηθητικών μηχανημάτων (Machinery) υπολογίζεται ως συνάρτηση της συνολικής ισχύος της κύριας προωστήριας εγκατάστασης και της ισχύος των ηλεκτρογεννητριών:

$$W_{AM} = 0,002 * (P_{ME} + P_{EL}) = 16,94t \qquad 5.4$$

W_{AM} [t]	LCG [m]	VCG [m]
16,94	40	3,3

Ηλεκτρογεννήτρια Εκτάκτου Ανάγκης

Η ισχύς της ηλεκτρογεννήτριας εκτάκτου ανάγκης (Emergency Generator) θεωρείται ίση με τη μισή ισχύ του ενός ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους, η οποία υπολογίστηκε παραπάνω. Έτσι λοιπόν προκύπτει:

$$P_{EG} = 0,5 * P_{EL} = 272,67kW \qquad 5.5$$

Επιλέγουμε την ηλεκτρογεννήτρια WET-250GF της εταιρίας WALTER-ZICHAI (Walter) η οποία παράγει ηλεκτρική ισχύ ίση με 280kW, και έχει βάρος 5,8 tons. Τελικά, το βάρος της και το κέντρο βάρους της μετρούμενο από το σχέδιο γενικής διάταξης, φαίνονται παρακάτω:

W_{AM} [t]	LCG [m]	VCG [m]
5,8	3,40	14,43

Total W_m

Τα επιμέρους στοιχεία που απαρτίζουν το βάρος μηχανολογικής εγκατάστασης παρουσιάζονται συνολικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5.2: Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης

	W (t)	LCG (m)	VCG (m)
Main Engine	63,80	35,00	3,28
Gearbox	20,00	29,00	2,30
Shaft	16,20	14,00	1,17
Propeller	2,40	2,00	1,18
Generator	28,50	23,70	3,50
Machinery	16,94	40,00	3,30
Em. Generator	5,80	3,40	14,43
Σύνολο	**153,64**	**28,77**	**3,36**

Στο συνολικό βάρος, γίνεται μια προσαύξηση 5% για τυχόν μηχανήματα που δεν συμπεριλήφθησαν στους υπολογισμούς. Τελικώς:

W_M [t]	LCG [m]	VCG [m]
161,31	28,77	3,36

5.3. Βάρος Εξοπλισμού (W_{OT})

Το βάρος εξοπλισμού W_{OT} περιλαμβάνει το βάρος εξαρτισμού, το βάρος των bow thrusters, το βάρος της κύριας μονάδας κλιματισμού καθώς και το βάρος του ηλεκτρικού δικτύου και του δικτύου σωληνώσεων.

Βάρος Εξαρτισμού

Ο δείκτης εξαρτισμού (Equipment Number) περιλαμβάνει τα συστήματα αγκυροβόλησης, πρόσδεσης και ρυμούλκησης του πλοίου. Ο υπολογισμός του γίνεται σε επόμενο κεφάλαιο, όπου υπολογίζεται: $EN = 1220$. Για το βάρος των παραπάνω συστημάτων έχουμε:

$$W_{EN} = 6,549*10^{-2} * EN + 4.101 = 6,549*10^{-2} *1220 + 4.101 \Rightarrow W_{EN} = 84,00t \qquad 5.7$$

Για τη διαμήκη θέση του κέντρου βάρους θεωρούμε πως βρίσκεται λίγο πρώραθεν από το μέσο του πλοίου, καθώς οι άγκυρες οι οποίες καταλαμβάνουν ένα μεγάλο κομμάτι του βάρους αυτού, βρίσκονται στην πλώρη του πλοίου. Όσον αφορά την κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους, θεωρούμε πως βρίσκεται στο δεύτερο κατάστρωμα οχημάτων καθώς εκεί έχουν τοποθετηθεί τα συστήματα πρόσδεσης, αγκυροβολίας και ρυμούλκησης. Τελικά προκύπτει:

W_{EN} [t]	LCG [m]	VCG [m]
84,00	40,00	13,43

Bow thrusters

Στο υπό μελέτη πλοίο επιλέγεται να χρησιμοποιηθούν 2 bow thrusters, ένα σε κάθε γάστρα, ώστε να έχει αυξημένες ικανότητες ελιγμών. Η ισχύς P_{BTH} και το βάρος τους W_{BTH} υπολογίζεται από τους παρακάτω τύπους.

$$P_{BTH} = \max\left\{350, {L_{BP}}/{0,2}\right\} = \max\left\{350, {74,1}/{0,2}\right\} = \\ = \max\{350, 370,5\} = 370,5kW \qquad 5.8$$

$$W_{BTH} = 2,2*10^{-3} * P_{BTH}{}^{1,131} = 2,2*370,5^{1,131} *10^{-3} = 1,77t \qquad 5.9$$

Το κέντρο βάρους των bow thrusters λαμβάνεται από το σχέδιο γενικής διάταξης, στο οποίο φαίνεται η θέση που έχουν τοποθετηθεί. Το συνολικό βάρος των δύο bow thrusters φαίνεται παρακάτω:

W_{BTH} [t]	LCG [m]	VCG [m]
3,54	67,94	2,43

Κεντρική μονάδα κλιματισμού

Η κεντρική μονάδα κλιματισμού τοποθετείται συνήθως στο ανώτερο κατάστρωμα και αποτελείται από τρεις ανεξάρτητες υπομονάδες: τη μονάδα κλιματισμού ιδιωτικών χώρων (καμπίνες), τη μονάδα κοινόχρηστων χώρων, και τη μονάδα χώρων όπου εργάζεται το πλήρωμα. Στο υπό μελέτη πλοίο έχει τοποθετηθεί μια υπομονάδα στο Δεύτερο Κατάστρωμα Οχημάτων (Deck 6) και άλλες δύο στο Weather Deck. Παρακάτω, παρουσιάζονται για κάθε έναν από τους παραπάνω χώρους και σύμφωνα με το επίπεδο άνεσης, οι εναλλαγές αέρα ανά άτομο σε lt/s (Σκούπας 2011):

Πίνακας 5.3: Παροχές Αέρα ανά Χώρο και Επίπεδο Άνεσης

Περιοχή		Επίπεδο άνεσης	Παροχή αέρα ανά άτομο (lt/s)
A	Χώροι Καμπινών	1	10
		2	10
		3	7
B	Δημόσιοι Χώροι	1	12
		2	10
		3	7
C	Χώροι εργασίας πληρώματος	1	12
		2	10
		3	7

Το βάρος της κάθε υποομάδας ως συνάρτηση της παροχής αέρα υπολογίζεται από τους παρακάτω τύπους.

Χώροι Καμπινών: $$W_A = 0,000434 * F_A + 0,946 \quad (5.10)$$

Δημόσιοι Χώροι: $$W_B = 0,000399 * F_B + 0,824 \quad (5.11)$$

Χώροι Εργασίας Πληρώματος: $$W_C = 0,000208 * F_C + 0,507 \quad (5.12)$$

Στους παραπάνω τύπους, τα F_A, F_B, F_C είναι η συνολική απαιτούμενη παροχή αέρα, ανάλογα με το χώρο του πλοίου, το επίπεδο άνεσης που επιλέχθηκε και το σύνολο των επιβατών που βρίσκονται στον εκάστοτε χώρο. Επιλέγουμε επίπεδο άνεσης “2” (το 1 είναι το μέγιστο) για όλους τους χώρους και έτσι, ύστερα από καταμέτρηση του μέγιστου αριθμού ανθρώπων κάθε κατηγορίας και με εφαρμογή των παραπάνω τύπων, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 5.4: Βάρη Υποομάδων Κλιματισμού

Περιοχή	Μέγιστος Αριθμός Επιβατών	Επίπεδο άνεσης	Παροχή αέρα ανά άτομο (lt/s)	Παροχή αέρα – *Fi* (lt/s)	Βάρος (t)
Χώροι Καμπινών	28	2	10	240	1,05
Δημόσιοι Χώροι	771	2	10	6640	3,47
Χώροι εργασίας πληρώματος	41	2	10	410	0,59

Έτσι, για το συνολικό βάρος της μονάδας κλιματισμού θα έχουμε:

$$W_{HVAC} = W_A + W_B + W_C = 1,05 + 3,47 + 0,59 = 5,12t \qquad 5.13$$

W_{HVAC} [t]	LCG [m]	VCG [m]
5,12	40,80	23,00

Βάρος Δικτύου Σωληνώσεων

Το βάρος του δικτύου σωληνώσεων εκτιμάται προσεγγιστικά μέσω συντελεστών βάρους, επί τη συνολική επιφάνεια των χώρων ενδιαίτησης (A_{ACC}) και των χώρων μεταφοράς οχημάτων (A_{GAR}):

$$W_{PP} = 0,03 * A_{ACC} + 0,02 * A_{GAR} [t] \qquad 5.14$$

Από το σχέδιο γενικής διάταξης μετράμε το εμβαδόν των χώρων που περιγράψαμε για κάθε κατάστρωμα, καθώς και το κέντρο επιφανείας τους. Έτσι έχουμε:

Πίνακας 5.5: Εμβαδόν Καταστρωμάτων

	Κατάστρωμα	Εμβαδόν [m^2]	LCG [m^2]	Διαμήκης ροπή επιφανείας	VCG [m^2]	Εγκάρσια ροπή επιφανείας
Καταστρώματα Επιβατών	**1**	1628,1	41,89	68201,11	16,225	26415,92
	2	848,2	51,62	43784,08	19,025	16137,01
	Σ	2476,3	45,22	111985,2	17,180	42552,9
Καταστρώματα Οχημάτων	**Κατάστρωμα**	**Εμβαδόν [m^2]**	**LCG [m^2]**	**Διαμήκης ροπή επιφανείας**	**VCG [m^2]**	**Εγκάρσια ροπή επιφανείας**
	1	1292,4	39,23	50700,85	13,425	17350,47
	2	1476,3	40,12	57455,85	8,425	12065,44
	Σ	2724,5	39,70	108156,7	10,80	29415,91

Τελικά, το βάρος των σωληνώσεων υπολογίζεται ως εξής:

$$W_{PP} = 0,03 * A_{ACC} + 0,02 * A_{GAR}[t] = 0,03 * 2476,3 + 0,02 * 2724,5 = 128,78t \qquad 5.15$$

Το τελικό κέντρο βάρους υπολογίζεται με τη μέθοδο των ροπών από τον παραπάνω πίνακα, και συγκεντρωτικά θα έχουμε:

W_{PP} [t]	LCG [m]	VCG [m]
128,78	42,33	13,84

Βάρος Ηλεκτρικού δικτύου

Το βάρος του ηλεκτρικού δικτύου υπολογίζεται και αυτό βάσει του εμβαδού συγκεκριμένων χώρων των καταστρωμάτων όπως περιγράψαμε παραπάνω. Έτσι έχουμε:

$$W_{EL} = 0,02 * A_{ACC} + 0,01 * A_{GAR} = 0,02 * 2476,3 + 0,01 * 2724,5 = 76,77t \qquad 5.16$$

W_{EL} [t]	LCG [m]	VCG [m]
76,77	42,33	13,84

$Total\ W_{OT}$

Παρακάτω, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά, τα βάρη που συνθέτουν το βάρος εξοπλισμού όπως αυτά υπολογίστηκαν παραπάνω.

Πίνακας 5.6: Βάρη Εξοπλισμού

Κατηγορία	Βάρος [t]	LCG [m]	ML [tm]	VCG [m]	MT [tm]
W_{EN}	84,00	40,00	3360,00	13,43	1128,12
W_{BTH}	3,54	67,94	240,51	2,43	8,60
W_{HVAC}	5,12	40,80	208,90	23,00	117,76
W_{PP}	128,78	42,33	5451,26	13,84	1782,32
W_{EL}	76,77	42,33	3249,67	13,84	1062,50
Σ	**298,21**	**41,95**	12510,34	**13,75**	4099,29

Στο βάρος εξοπλισμού θα γίνει μια προσαύξηση 5% για περιθώριο λάθους, οπότε προκύπτει:

W_{OT} [t]	LCG [m]	VCG [m]
313,12	41,95	13,75

5.4. Βάρος Ενδιαίτησης (Wacc)

Το βάρος ενδιαίτησης W_{ACC} περιλαμβάνει τα βάρη του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στα σαλόνια αναμονής επιβατών, στις καμπίνες και γενικά σε όλους τους χώρους που ενδιαιτώνται το πλήρωμα και οι επιβάτες. Στα βάρη αυτά συμπεριλαμβάνονται τα βάρη των μονώσεων, των υποστρωμάτων, των καταστρωμάτων, ο εξοπλισμός των κοινόχρηστων χώρων, τα έπιπλα των καμπινών, τα οριζόντια και κατακόρυφα panels, οι ανελκυστήρες, οι κυλιόμενες κλίμακες κ.α. Για τα παραπάνω βάρη, φαίνονται ανά κατηγορία οι μέγιστοι και οι ελάχιστοι (ανάλογα με το επίπεδο ενδιαίτησης) συντελεστές των βαρών τους:

Πίνακας 5.7: Συντελεστές Βαρών Χώρων Ενδιαίτησης

Περιοχή*	**Συντελεστής βάρους (t/m^2)**	
	Ελάχιστο w_i^{min}	**Μέγιστο w_i^{max}**
Καμπίνες επιβατών τετράκλινες	0,0653	0,0722
Καμπίνες επιβατών δίκλινες	0,0676	0,0747
Καθίσματα αεροπορικού τύπου	0,0686	0,0758
Καμπίνες αξιωματικών	0,0646	0,0714
Καμπίνες κατώτερου πληρώματος	0,0449	0,0496
Κοινόχρηστοι χώροι υγιεινής εσωτερικοί	0,0466	0,0515
Κοινόχρηστοι χώροι υγιεινής εξωτερικοί	0,0315	0,0348
Χώροι αναμονής (σαλόνια)	0,0288	0,0318
Self service	0,0565	0,0624
Χώρος υποδοχής	0,0444	0,0501
Καταστήματα	0,0389	0,043

*Να σημειωθεί πως νοείται, ως ο συνολικός χώρος που φέρει τη συγκεκριμένη ιδιότητα. Για παράδειγμα, η περιοχή των καμπινών πληρώματος περιλαμβάνει εκτός από τις καμπίνες, τους διαδρόμους και την αίθουσα αναψυχής.

Παρακάτω, φαίνονται και τα βάρη των κυλιόμενων κλιμάκων (escalators) και των ανελκυστήρων επιβατών (passenger lifts).

Πίνακας 5.8: Συντελεστές Βαρών Κυλιόμενων Κλιμάκων και Ανελκυστήρων

Είδος	**Συντελεστής Βάρους**
Κυλιόμενες Κλίμακες (κλίση 35°)	1,18 t/m (κατακόρυφης απόστασης)
Ανελκυστήρες Επιβατών (καμπίνα 1.8m*1.3m, βάρος ανύψωσης 680 kg), ΠΔ 314/2001	910 kg /lift

Το συνολικό βάρος ενδιαίτησης προσδιορίζεται από το γινόμενο των επιμέρους συντελεστών επί την επιφάνεια που καταλαμβάνει η εκάστοτε περιοχή.

Έτσι θα έχουμε:

$$W_{Acc} = \sum_i w_i^w * A_i + W_{escalator} + W_{elevator} \qquad 5.16$$

Όπου w_i ο σταθμισμένος μέσος ως προς το επίπεδο ποιότητας ενδιαίτησης (*k*) συντελεστής της περιοχής *i*, ο οποίος ισούται με:

$$w_i^w = w_i^{\min} + k * (w_i^{\max} - w_i^{\min}),\ k \in [0,1] \qquad 5.17$$

Επιλέγουμε μέσο επίπεδο ενδιαίτησης και άρα *k*=0,5. Παρακάτω παρουσιάζονται οι σταθμισμένοι συντελεστές βαρών για κάθε περιοχή, καθώς και το συνολικό εμβαδόν της κάθε περιοχής στο σύνολο των καταστρωμάτων.

Πίνακας 5.9: Βάρη Χώρων Ενδιαίτησης

Περιοχή	k (0-1)	Σταθμισμένος συντελεστής βάρους [t/m^2]	Εμβαδόν περιοχής [m^2]
Καμπίνες επιβατών τετράκλινες	0,5	0,06875	67,20
Καμπίνες επιβατών δίκλινες	0,5	0,07115	160,43
Καθίσματα αεροπορικού τύπου	0,5	0,0722	150,31
Καμπίνες αξιωματικών	0,5	0,068	164,40
Καμπίνες κατώτερου πληρώματος	0,5	0,04725	197,52
Κοινόχρηστοι χώροι υγιεινής εσωτερικοί	0,5	0,04905	119,33
Κοινόχρηστοι χώροι υγιεινής εξωτερικοί	0,5	0,03315	0,00
Χώροι αναμονής (σαλόνια)	0,5	0,0303	761,43
Self service	0,5	0,05945	205,22
Χώρος υποδοχής	0,5	0,04725	78,17
Καταστήματα	0,5	0,04095	124,80

Για τον υπολογισμό του βάρους κάθε κατηγορίας χώρων ενδιαίτησης θα γίνει η μέτρηση του εμβαδού του ξεχωριστά σε κάθε κατάστρωμα. Επίσης, σε κάθε κατάστρωμα, θα μετρηθεί το κέντρο επιφανείας κάθε χώρου από όπου θα προκύψει το κέντρο βάρους της αντίστοιχης κατηγορίας βαρών. Έτσι, προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες όπου παρουσιάζονται τα παραπάνω βάρη αναλυτικά για κάθε κατάστρωμα καθώς και τα κέντρα βάρους τους.

Πίνακας 5.10: Βάρη Ενδιαίτησης 1st Passenger Deck

1° Κατάστρωμα Ενδιαίτησης								
Περιοχή Χώρων		**Συντελεστής Βάρους [t/m^2]**	**Εμβαδόν Περιοχής [m^2]**	**ΒΑΡΟΣ [t]**	**LCG [m]**	**M_L [tm]**	**VCG [m]**	**M_T [tm]**
Αεροπορικές θέσεις		0,0722	150,31	11,90	19,97	216,69	17,16	186,20
Εσωτερικές Τουαλέτες		0,04905	72,34	3,55	43,60	154,71	17,16	60,88
Σαλόνια αναμονής		0,0303	243,87	7,39	64,70	478,08	17,16	126,79
Self Service		0,05945	517,57	15,68	28,89	452,99	17,16	269,08
Χώρος υποδοχής		0,04725	205,22	12,60	55,21	673,53	17,16	209,34
Καταστήματα	**1**	0,04095	78,17	3,69	29,65	109,53	17,16	63,38
	2	0,04095	10,00	0,41	9,60	3,93	17,16	7,03
	3	0,04095	54,00	2,21	33,07	73,12	17,16	37,94
ΣΥΝΟΛΟ		-	-	**57,43**	**39,39**	2258,21	**17,16**	983,68

Πίνακας 5.11: Βάρη Ενδιαίτησης 2nd Passenger Deck

2° Κατάστρωμα Ενδιαίτησης								
Περιοχή Χώρων		**Συντελεστής Βάρους [t/m^2]**	**Εμβαδόν Περιοχής [m^2]**	**ΒΑΡΟΣ [t]**	**LCG [m]**	**M_L [tm]**	**VCG [m]**	**M_T [tm]**
Καμπίνες Τετράκλινες		0,06875	67,20	4,62	27,20	125,66	19,96	92,21
Καμπίνες Δίκλινες		0,07115	160,43	10,41	33,05	377,21	19,96	227,82
Καμπίνες Αξιωματικών	**1**	0,06800	36,80	2,50	62,16	155,56	19,96	49,94
	2	0,06800	126,60	8,68	56,46	489,85	19,96	173,17
Καμπίνες κατώτερου πληρώματος Δίκλινες	**1**	0,04725	19,20	0,91	60,80	55,16	19,96	18,11
	2	0,04725	52,23	2,47	41,60	102,65	19,96	49,25
	3	0,04725	68,09	3,26	43,20	141,03	19,96	65,16
Καμπίνες κατώτερου πληρώματος Τετράκλινες		0,08033	57,70	3,63	54,80	253,98	19,96	9250
Εσωτερικές τουαλέτες	**1**	0,04905	23,50	1,15	26,00	29,96	19,96	23,00
	2	0,04905	23,50	1,15	26,00	29,96	19,96	23,00
Καταστήματα		0,04095	28,00	1,15	20,87	23,93	19,96	22,88
ΣΥΝΟΛΟ		-	-	**39,93**	**42,56**	1784,97	**19,96**	837,04

Πίνακας 5.12: Βάρος κυλιόμενων κλιμάκων και ανελκυστήρων

Άλλα Βάρη						
Είδος	**No**	ΒΑΡΟΣ [t]	LCG [m]	M_L [tm]	VCG [m]	M_T [tm]
Κυλιόμενες Σκάλες	**-**	8,204	16,20	149,11	12,47	111,77
Ασανσέρ	**1**	0,910	23,20	22,11	9,51	8,65
	2	0,910	50,00	45,5	10,91	9,93
	3	0,910	50,00	45,5	10,91	9,93
ΣΥΝΟΛΟ	**-**	**10,93**	**21,89**	261,22	**12,01**	143,28

Συνολικά για το βάρος ενδιαίτησης θα έχουμε:

Πίνακας 5.13: Συνολικό Βάρος Ενδιαίτησης

	ΒΑΡΟΣ [t]	LCG [m]	M_L [tm]	VCG [m]	M_T [tm]
$W_{1stPass}$	57,43	39,39	2258,21	17,16	983,68
$W_{2ndPass}$	39,93	42,56	1784,97	19,96	837,043
W_{Other}	10,93	21,89	261,22	12,01	143,28
Σ	**108,30**	**38,71**	4304,40	**17,66**	1964,01

Στο βάρος ενδιαίτησης θα γίνει μια προσαύξηση 5% για περιθώριο λάθους, ή για στοιχεία που δεν υπολογίστηκαν, οπότε θα έχουμε τελικά:

W_{ACC} [t]	LCG [m]	VCG [m]
113,72	38,71	17,66

5.5. Βάρος Κενού Σκάφους (W_{LS})

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τέσσερεις κατηγορίες βαρών, όπως υπολογίστηκαν παραπάνω, καθώς και το κέντρο βάρους τους. Οι τέσσερεις κατηγορίες είναι η μεταλλική κατασκευή (W_{ST}), η μηχανολογική εγκατάσταση (W_M), ο εξοπλισμός (W_{OT}) και η ενδιαίτηση (W_{ACC}). Να σημειωθεί πως έχει γίνει προσαύξηση 5% σε όλες της κατηγορίες των επιμέρους βαρών για τους λόγους που αναφέρονται στα αντίστοιχα υποκεφάλαια.

Πίνακας 5.14: Συνολικό Βάρος Κενού Σκάφους

	MACHINERY	OT	STEEL	ACC
WEIGHT (t)	160,71	313,12	1276,2	113,72
LCG (m)	28,77	41,95	37,93	38,71
VCG (m)	3,36	13,75	8,98	17,66

Έτσι, υπολογίζεται το τελικό βάρους του άφορτου σκάφους:

W_{LS} [t]	LCG [m]	VCG [m]
1863,8	37,64	9,86

6. ΑΝΑΛΥΣΗ DWT

Για τον υπολογισμό του πρόσθετου βάρους του πλοίου (Deadweight) και κατ' επέκταση τον υπολογισμό του Payload, θα πρέπει να αναλύσουμε το πρόσθετο βάρος σε επιμέρους κατηγορίες. Βασική παράμετρο, αποτελεί η ακτίνα ενέργειας του πλοίου βάσει της οποίας υπολογίζονται τα επιμέρους βάρη των αναλωσίμων. Οι επιμέρους ομάδες που απαρτίζουν το πρόσθετο βάρος του σκάφους, φαίνονται παρακάτω:

Πίνακας 6.1: Υποκατηγορίες του Deadweight

Συμβολισμός	Επεξήγηση
W_{FO}	Βάρος καυσίμων κυρίων μηχανών
W_{DO}	Βάρος καυσίμων ηλεκτρογεννητριών
W_{LO}	Βάρος λιπαντικών
W_{FW}	Βάρος γλυκού νερού
W_{LI}	Βάρος υπόλοιπων υγρών
W_{PR}	Βάρος εφοδίων
W_{P}	Βάρος επιβατών
W_{CR}	Βάρος πληρώματος
W_{VH}	Βάρος οχημάτων

Αρχικά, θα πρέπει να υπολογίσουμε την ακτίνα ενέργειας *R* του πλοίου. Θεωρούμε πως το υπό μελέτη πλοίο εκτελεί το παρακάτω ημερήσιο κυκλικό δρομολόγιο.

Πειραιάς→Σύρος→Τήνος → Μύκονος → Τήνος → Σύρος→ Πειραιάς

Στο **Σχήμα 6.1** παρουσιάζεται χάρτης του δρομολογίου, ο οποίος έχει προκύψει μέσω της εφαρμογής Google Earth, η οποία είναι διαθέσιμη στο διαδίκτυο (Google 2013). Στη συνέχεια, βρίσκουμε τις αποστάσεις των δρομολογίων για τα νησιά αυτά μέσω των προγραμμάτων Ship Finder (Pinkfoot 2013) και Google Earth (Google 2013), οι οποίες και φαίνονται στη συνέχεια. Έχοντας επιλέξει ως ταχύτητα υπηρεσίας τους 19 κόμβους, όπως περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, προκύπτει και η διάρκεια των δρομολογίων, η οποία παρουσιάζεται στον **Πίνακα 6.2**.

Σχήμα 6.1: Δρομολόγιο υπό Μελέτη Πλοίου

Πίνακας 6.2: Αποστάσεις και Διάρκεια Δρομολογίου

Δρομολόγιο	Sea Miles	Χρόνος ταξιδιού (hours)
Πειραιάς → Σύρος	83,2	4,4
Σύρος → Τήνος	11,9	0,6
Τήνος → Μύκονος	8,3	0,4
Σύνολο (one way)	103,4	5,4
Σύνολο (round trip)	206,8	10,8

Στον παραπάνω συνολικό χρόνο ενός κυκλικού ταξιδιού, προσθέτουμε ακόμα 2,5h, ως χρόνο παραμονής στα λιμάνια, δηλαδή μισή ώρα σε κάθε λιμάνι. Έτσι, ο συνολικός χρόνος ταξιδιού γίνεται t_s=13,3 hours. Όσον αφορά στην ακτίνα ενέργειας, έχουμε *R*=206,8 s.m., όπως φαίνεται από τον προηγούμενο πίνακα. Τέλος, θεωρούμε πως ο ανεφοδιασμός του πλοίου γίνεται κάθε 3 ημέρες, οπότε το εκάστοτε βάρος αναλωσίμων θα υπολογιστεί για 3 μέρες (3 ημερήσια ταξίδια).

Ακολουθεί η ανάλυση κάθε κατηγορίας βαρών. Να σημειώσουμε πως το κέντρο βάρους των καυσίμων δεν θα υπολογιστεί καθώς εξαρτάται από την τελική θέση των δεξαμενών στο υπό μελέτη πλοίο. Η θέση αυτή θα καθοριστεί στο πρόγραμμα Aveva Surface (Marine Surface 2006) σε μετέπειτα στάδιο της μελέτης. Οι μαθηματικοί τύποι που χρησιμοποιούνται παρακάτω λήφθηκαν κυρίως από το βιβλίο 'Μελέτη Πλοίου (Τόμος Ι)' του κ. Απόστολου Παπανικολάου (Παπανικολάου 2009) και συμπληρωματικά από τη διδακτορική διατριβή του Σωτήρη Σκούπα (Σκούπας 2011).

Βάρος καυσίμων κύριων μηχανών

Το βάρος των καυσίμων (Heavy Fuel Oil) των κύριων μηχανών υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση (το πλοίο δεν είναι εφοδιασμένο με αεριοστρόβιλο):

$$W_{FO} = c * P_D * b_D * t_S * 10^{-6} \qquad 6.1$$

Όπου:

W_{FO} =βάρος καυσίμων σε t
$P_D = 6027{,}979 kW$ ισχύς των κύριων μηχανών diesel σε kW στο 85% του MCR τους
$b_D = 188\, gr / kWh$ η ειδική κατανάλωση καυσίμου των μηχανών
$t_S = \frac{R}{V_S} = \frac{206{,}8}{19} = 10{,}8h$ ο χρόνος λειτουργίας των κύριων μηχανών σε ώρες
c =1,2 αφορά την εφεδρεία των δεξαμενών

Άρα, το συνολικό βάρος των καυσίμων των κύριων μηχανών είναι (για 3 ταξίδια):

$$W_{FO} = 3*1{,}2*6027{,}979*188*10{,}8*10^{-6} = 44{,}4t \qquad 6.2$$

Βάρος καυσίμων ηλεκτρογεννητριών

Παρομοίως, το βάρος των καυσίμων (Diesel Oil) των ηλεκτρογεννητριών υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$W_{DO} = c * b_{DO} * (P_{EL} * t_S + 0{,}5 * P_{EL} * t_P) * 10^{-6} \qquad 6.3$$

Όπου:

W_{DO} =βάρος καυσίμων σε t
$P_{EL} = 311{,}64 kW$ η απαιτούμενη ισχύς των ηλεκτρογεννητριών σε kW
$b_{DO} = 197\, gr / kWh$ η ειδική κατανάλωση καυσίμου των ηλεκτρογεννητριών
$t_s = 10{,}8h$ ο χρόνος λειτουργίας των ηλεκτρογεννητριών σε ώρες, όπως παραπάνω
$t_P = 2{,}5h$ ο συνολικός χρόνος παραμονής σε λιμάνια
c =1,2 αφορά την εφεδρεία των δεξαμενών

Άρα το συνολικό βάρος των καυσίμων των ηλεκτρογεννητριών είναι (για 3 ταξίδια):

$$W_{DO} = 3*1{,}2*197*(311{,}64*10{,}8 + 0{,}5*311{,}64*2{,}5)*10^{-6} = 2{,}68t \qquad 6.4$$

Βάρος λιπαντικών

Το βάρος των λιπαντικών (lubricant oil) υπολογίζεται από την εξίσωση (το πλοίο δεν είναι εφοδιασμένο με αεριοστρόβιλο):

$$W_{LO} = c*\{(P_D + P_{EL})*b_{LOD}*t_s + 0,5*P_{EL}*b_{LOD}*t_P\}*10^{-6} \quad 6.5$$

Όπου:

W_{LO} =βάρος λιπαντικών σε t

$b_{LOD} = 0,8gr/kWh$ η ειδική κατανάλωση λιπαντικού για τις μηχανές diesel και τους αντίστοιχους μειωτήρες

t_S & t_P όπως περιγράφηκαν παραπάνω

c =1,2 αφορά την εφεδρεία των δεξαμενών

Άρα το συνολικό βάρος των λιπαντικών είναι:

$$W_{LO} = 1,2*\{(6027,979 + 311,64)*0,8*10,8 + 0,5*311,64*0,8*2,5\}*10^{-6} = 0,20t \quad 6.6$$

Το βάρος αυτό αντιστοιχεί στο λιπαντικό που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια των 3 ταξιδιών. Όμως, οι αντίστοιχες δεξαμενές δεν αδειάζουν στο τέλος του ταξιδιού καθώς υπάρχει μια κυκλική ροή του υγρού στα διάφορα μηχανήματα.

Έτσι, θα θεωρήσουμε τελικό διαθέσιμο βάρος λιπαντικών στις δεξαμενές του πλοίου: $W_{LO} = 10t$

Βάρος γλυκού νερού

Η ποσότητα του γλυκού νερού (fresh water) που καταναλώνεται από επιβάτες και πλήρωμα κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, υπολογίζεται με βάση τους παρακάτω συντελεστές:

$c_1 = 0,65kg/\alpha\nu\theta\rho\omega\pi o\acute{\omega}\rho\alpha$, για πλήρωμα και επιβάτες με καμπίνες

$c_2 = 0,35kg/\alpha\nu\theta\rho\omega\pi o\acute{\omega}\rho\alpha$, για επιβάτες χωρίς καμπίνες

Έτσι, το συνολικό βάρος ισούται με:

$$W_{FW} = c*\{c_1*(N_{P1} + N_{CR}) + c_2*N_{P2}\}*t*10^{-3} \quad 6.7$$

Όπου:

W_{FW} =βάρος γλυκού νερού σε t
N_{P1} & N_{P2} , ο αριθμός των επιβατών που διαθέτουν ή όχι καμπίνες αντίστοιχα
N_{CR} , ο αριθμός του πληρώματος
t, ο συνολικός χρόνος του ταξιδιού που αντιστοιχεί στην ακτίνα ενέργειας
c =1,2 αφορά την εφεδρεία των δεξαμενών

Άρα το συνολικό βάρος του γλυκού νερού είναι:

$$W_{FW} = 1,2*\{0,65*(28+41)+0.35*1148\}*13,4*10^{-3} = 21,5t \quad 6.8$$

Βάρος υπόλοιπων υγρών

Το βάρος των υπόλοιπων υγρών (liquids) περιλαμβάνει υγρά τα οποία δεν έχουν συμπεριληφθεί στους ανωτέρω υπολογισμούς, όπως το νερό ψύξης διαφόρων μηχανών και μηχανημάτων, και υπολογίζεται όπως φαίνεται παρακάτω:

$$W_{LI} = 0,01*(W_{FO}+W_{DO}+W_{LO}+W_{FW}) = 0,01*(44,4+2,68+0,19+21,5) = 0,69t \quad 6.9$$

Επίσης, το κέντρο βάρους των παραπάνω υγρών λαμβάνεται στο κέντρο βάρους της μηχανολογικής εγκατάστασης και έτσι θα έχουμε:

$$LCG_{LI} = 27,37m$$
$$VCG_{LI} = 3,84m$$

Βάρος εφοδίων

Το βάρος εφοδίων (provisions), υπολογίζεται με βάση την κατανάλωση 0,35 kg/ανθρωποώρα κατά τη διάρκεια του ταξιδιού και ισούται με:

$$W_{PR} = 0,35*c*N_P*t*10^{-3} \quad 6.10$$

Όπου:

W_{PR} = βάρος εφοδίων σε t
N_P =1299, ο συνολικός αριθμός των θέσεων των επιβατών της θερινής περιόδου
c =1,2 αφορά την εφεδρεία των δεξαμενών
t=13,4, ο συνολικός χρόνος του ταξιδιού

Άρα το συνολικό βάρος των εφοδίων είναι:

$$W_{PR} = 3*0,35*1,2*1299*13,4*10^{-3} = 21,9t \qquad 6.11$$

Για τον προσδιορισμό του κέντρου βάρους των εφοδίων, θεωρούμε πως το διάμηκες κέντρο είναι στο μισό του μήκους του πρώτου καταστρώματος επιβατών (Deck 7) και το καθ'ύψος κέντρο στα 16,225m.

$$LCG_{PR} = 33,2m$$
$$VCG_{PR} = 16,225m$$

Βάρος επιβατών

Θεωρούμε κατά μέσο όρο 95kg/άτομο μαζί με τις αποσκευές και έτσι για τη θερινή περίοδο που παρουσιάζεται ο μέγιστος αριθμός επιβατών (passengers), θα έχουμε:

$$W_P = 0,095*1299 = 123,4t \qquad 6.12$$

Όσον αφορά στο κέντρο βάρους των επιβατών, έχουμε με τη μέθοδο των ροπών (σε κάθε ξεχωριστό χώρο επιβατών, έχουν μετρηθεί οι επιβάτες καθώς και το κέντρο του χώρου αυτού):

$$LCG_P = 25,6m$$
$$VCG_P = 17,11m$$

Βάρος πληρώματος

Θεωρούμε πως κάθε μέλος πληρώματος (crew) ζυγίζει μαζί με τις αποσκευές του 120 kg κατά μέσο όρο και έτσι θα έχουμε (41 άτομα πλήρωμα):

$$W_P = 0,120*41 = 4,92t \qquad 6.13$$

Όσον αφορά στο κέντρο βάρους του πληρώματος, θεωρήθηκε πως βρίσκεται στο μέσο του πλοίου κατά το διάμηκες, και στο κύριο κατάστρωμα κατά το κατακόρυφο:

$$LCG_{CR} = 37,05m$$
$$VCG_{CR} = 8,425m$$

Βάρος οχημάτων

Η μεταφορική ικανότητα των Ι.Χ. αυτοκινήτων (private cars) αλλά και των φορτηγών οχημάτων (trucks), θα υπολογιστεί με βάση τις θέσεις Ι.Χ. αυτοκινήτων καθώς και τα μήκη των λωρίδων φορτηγών. Αν από το εκτόπισμα που αντιστοιχεί στο μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα (Δ_{max}=2779,26 όπως προκύπτει από το πρόγραμμα Aveva Lines για T_{max}=4,5m) αφαιρεθούν τα βάρη του άφορτου σκάφους, των αναλωσίμων, των επιβατών αλλά και του πληρώματος, προκύπτει το μέγιστο ωφέλιμο φορτίο των οχημάτων (W_{PC} και W_{TR}), το οποίο ισούται με:

$$W_{PC}+W_{TR}=\Delta_{MAX}-\{W_{LS}+(W_{FO}+W_{DO}+W_{LO}+W_{FW}+W_{LI}+W_{PR}+W_{P}+W_{CR})\} \qquad 6.14$$
$$\Rightarrow W_{PC}+W_{TR}=713,7t$$

Θεωρώντας ως φόρτωση αυτή ώστε να προκύπτει η πιο δυσμενής κατάσταση φόρτωσης, έχουμε πως το πρώτο κατάστρωμα φόρτωσης οχημάτων φορτώνεται εξ' ολοκλήρου με φορτηγά και το δεύτερο κατάστρωμα φορτώνεται με Ι.Χ. αυτοκίνητα. Έτσι, θεωρώντας κατά μέσο όρο ότι ένα Ι.Χ. αυτοκίνητο ζυγίζει 1,6 t, έχουμε πως:

$$W_{PC}=1,6*87=139,2t \qquad 6.15$$

Το αντίστοιχο βάρος των φορτηγών είναι:

$$W_{TR}=713,7-139,2=574,5t \qquad 6.16$$

Διαιρώντας το βάρος αυτό με το συνολικό αριθμό των μέτρων των λωρίδων, προκύπτει το βάρος ανά μέτρο για τα φορτηγά οχήματα:

$$w_{TR}=\frac{579,6t}{344m}=1,69t/m \qquad 6.17$$

Το ειδικό βάρος αυτό θεωρείται αποδεκτό, καθώς έχει ως αποτέλεσμα βάρος 20,28t για φορτηγό 12m και 27,04 για φορτηγό 16m.

Για το κέντρο βάρους των οχημάτων, από το σχέδιο γενικής διάταξης για τη συγκεκριμένη φόρτωση έχουμε:

Πίνακας 6.3: Κέντρο Βάρους Οχημάτων

	W [t}	LCG [m]	ML [tm]	VCG [m]	MT [tm]
Trucks	139,20	37,62	5236,70	11,73	1632,12
Cars	574,48	38,60	22174,93	10,43	5988,95
Σύνολο	713,68	38,00	27411,63	10,68	7621,07

Πρόσθετο Βάρος

Συγκεντρωτικά, για το βάρος του πρόσθετου φορτίου του πλοίου θα έχουμε:

Πίνακας 6.4: Βάρη Deadweight

	Κατηγορία	W[t]	LCG	VCG
Καύσιμα Κυρίων Μηχανών	W_{FO}	44,4	-	-
Καύσιμα Ηλεκτρογεννητριών	W_{DO}	2,68	-	-
Λιπαντικά	W_{LO}	10	-	-
Φρέσκο Νερό	W_{FW}	21,5	-	-
Υπόλοιπα Υγρά	W_{LI}	1,0	29,77	2,71
Εφόδια	W_{PR}	21,9	33,2	16,225
Επιβάτες	W_P	123,4	25,6	17,11
Πλήρωμα	W_{CR}	4,92	37,05	8,425
Οχήματα	$W_{PC} + W_{TR}$	713,68	38,00	10,68
Σύνολο	DWT	**928,98**	-	-

Να σημειώσουμε πως τα βάρη των αναλωσίμων των δεξαμενών (HFO, DO, LO, FW) ενδέχεται να μεταβληθούν σε μικρό βαθμό, καθώς θα καταστρώνονται οι καταστάσεις φόρτωσης στο πρόγραμμα Aveva Calc & Hydro. Στην φάση εκείνη θα υπολογιστεί και το ακριβές κέντρο βάρους τους.

7. ΑΛΛΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

7.1. Καταμέτρηση

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα υπολογιστεί η ολική και η καθαρή χωρητικότητα του υπό μελέτη πλοίου. Η ολική χωρητικότητα (Gross Tonnage) αναφέρεται στους συνολικού χώρους του πλοίου και χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του αριθμού και της σύνθεσης του πληρώματος. Η καθαρή χωρητικότητα (Net Tonnage) αναφέρεται στους χώρους φορτίου και επιβατών και αποτελεί ένα αντιπροσωπευτικό μέγεθος της οικονομικής αξίας του πλοίου. Και τα δύο μεγέθη αποτελούν τη βάση για τον καθορισμό διαφόρων τελών, φόρων, ασφαλίστρων κ.α.

Για την καταμέτρηση των πλοίων, υπάρχει ελληνική νομοθεσία (Ν.Δ.973/ 1971), αλλά ο υπολογισμός στην παρούσα διπλωματική θα γίνει βάσει των διεθνών κανονισμών. Οι κανονισμοί αυτοί, περιέχονται στο κείμενο της Διεθνούς Συνδιάσκεψης για την Καταμέτρηση των Πλοίων (ICTM 1969). Να σημειώσουμε πως για τη συνολική χωρητικότητα η ελληνική νομοθεσία έχει ως αποτέλεσμα ένα νούμερο για τα επιβατηγά πλοία, περίπου 40% μικρότερο των διεθνών κανονισμών.

Ολική Χωρητικότητα

Σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς, η ολική χωρητικότητα (Gross Tonnage) υπολογίζεται βάσει του τύπου:

$$GT = k_1 \cdot V_{Total} \qquad 7.1$$

Όπου:

$k_1 = 0,2 + 0,02*\log(V_{Total})$
V_{Total} :είναι ο όγκος όλων των κλειστών χώρων του πλοίου

Από το πρόγραμμα Aveva Calculations&Hydrostatics (Marine CalcM) υπολογίζουμε ολικό όγκο περικλειόμενων χώρων του πλοίου ίσο με: $V_{Total} = 30621,3m^2$.

Έτσι από την εξίσωση 7.1 έχουμε:

$$k_1 = 0,2 + 0,02*\log V_{Total} = 0,2 + 0,02*30621,3 = 0,28972$$

Έτσι, προκύπτει τελικά:

$$GT = 8872$$

Καθαρή Χωρητικότητα

Σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς (ICTM 1969), η καθαρή χωρητικότητα (Net Tonnage) υπολογίζεται βάσει του τύπου:

$$NT = K_2 \cdot V_C \left(\frac{4d}{3D}\right)^2 + K_3\left(N_1 + \frac{N_2}{10}\right) \qquad 7.2$$

Όπου :

V_C: Τ συνολικός όγκος των χώρων φορτίου. Στο υπό μελέτη πλοίο, ο όγκος αυτός αντιστοιχεί στον χώρο που προορίζεται για τη μεταφορά οχημάτων.
d: Το μέγιστο έμφορτο βύθισμα.
D: Το πλευρικό ύψος του πλοίου μέχρι το κατάστρωμα στεγανών φρακτών, το οποίο δεχόμαστε ότι είναι το ανώτερο συνεχές κατάστρωμα.
N_1: Αριθμός επιβατών σε καμπίνες.
N_2: Αριθμός των υπόλοιπων επιβατών.
K_2=0,2+0,02*log(V_C)
K_3=1,25+(GT+10000)/10000

Τελικώς, έχουμε:

V_C= 15156,43m^2
d=4,5m
D=8,425m
N_1=24
N_2=1152
K_2=0,283612
K_3=2,358952

και

NT=4718,36

Σε αυτό το σημείο, θα πρέπει να ελέγξουμε κάποιους περιορισμούς που ισχύουν για τον υπολογισμό της καθαρής χωρητικότητας:

-Πρέπει ο παράγοντας $\left(\frac{4d}{3D}\right)^2$ να είναι μικρότερος της μονάδας. Έχουμε $\left(\frac{4d}{3D}\right)^2$ =0,51

-Πρέπει ο παράγοντας $K_2V_C\left(\frac{4d}{3D}\right)^2$ να είναι μεγαλύτερος από 0,25GT. Έχουμε: $K_2V_C\left(\frac{4d}{3D}\right)^2$=2180,139 ≥ 0,25$GT$, όμως: 0,25$GT$ = 2218, άρα δεν ικανοποιείται η απαίτηση και άρα: NT=2218 (=0,25GT)

-Τέλος, πρέπει η καθαρή χωρητικότητα να είναι μεγαλύτερη από 0,3*GT*. Όμως, *NT*= 2218 ≤ 2661,5 =0,3*GT*.

Έτσι, η τελική καθαρή χωρητικότητα θα είναι ίση με το 30% της ολικής.

$$NT = 2662$$

7.2. Σύνθεση Πληρώματος

Για τον καθορισμό της σύνθεσης του πληρώματος θα βασιστούμε στην ελληνική νομοθεσία (Π.Δ.177/ 1974; Π.Δ.230/ 1984; Π.Δ.319/ 1996). Να σημειώσουμε πως η επιλογή του πληρώματος στα παραπάνω άρθρα γίνεται βάσει της ολικής χωρητικότητας του πλοίου σε κόρους, όπως αυτή προκύπτει από την ελληνική νομοθεσία. Στο υπό μελέτη πλοίο, όμως, έχει γίνει μέτρηση της ολικής χωρητικότητας (*GT*=8872) βάσει των διεθνών κανονισμών. Θα θεωρήσουμε χωρητικότητα σε κόρους περίπου ίση με 10000 κ.ο.χ., καθώς παρατηρούμε από τα στοιχεία που έχουμε από την εταιρεία “Blue Star Ferries” για την καταμέτρηση των πλοίων του στόλου της, ότι ο ελληνικός κανονισμός δίνει κ.ο.χ. περίπου 40% λιγότερους από το *GT* της διεθνούς νομοθεσίας για πλοία παρόμοιου μεγέθους με το υπό μελέτη. Εκτός από τους κόρους ολικής χωρητικότητας, η επιλογή του πληρώματος γίνεται και βάσει των συνολικών επιβατών (1176), των επιβατών σε κλίνες (28) καθώς και της συνολικής εγκατεστημένης ιπποδύναμης των κυρίων μηχανών (8160 kW). Τελικώς, λαμβάνουμε το εξής πλήρωμα:

Πλήρωμα Καταστρώματος: 13
1 Πλοίαρχος Α’
1 Ύπαρχος
1 Πλοίαρχος Β’
1 Πλοίαρχος Γ’
1 Δόκιμος Πλοίαρχος
1 Ναύκληρος
1 Υποναύκληροι
6 Ναύτες

***Πλήρωμα Μηχανής*: 11**
1 Μηχανικός Α’
1 Μηχανικοί Β’
1 Μηχανικοί Γ’
1 Δόκιμοι Μηχανικοί
1 Μηχανοδηγός Α’
3 Μηχανοδηγοί Β’
1 Μαθητευόμενος Μηχανοδηγός
2 Ηλεκτρολόγοι

***Πλήρωμα Ραδιοτηλεγραφίας*: 2**
1 Ραδιοτηλεγραφητής Α’
1 Ραδιοτηλεγραφητής Β’

Πλήρωμα Τροφοδοσίας: 1
1 Βοηθός Φροντιστή

Πλήρωμα Οικονομικών Υπηρεσιών: 2
1 Οικονομικός Αξιωματικός Α’
1 Οικονομικός Αξιωματικός Β’

Πλήρωμα Ενδιαιτημάτων: 8
5 Θαλαμηπόλοι
2 Επίκουροι
1 Αρχιθαλαμηπόλοι

***Πλήρωμα Μαγειρείου*: 3**
1 Μάγειρας Α’
1 Μάγειρας Β’
1 Χυτροκαθαριστής

Τέλος, στο πλήρωμα θα προστεθεί και ένας (1) γιατρός.

Τελικά θα έχουμε:

Πίνακας 7.1: Συνολικό Πλήρωμα

	Αριθμός
Καταστρώματος	13
Μηχανής	11
Ραδιοτηλεγραφίας	2
Οικονομικών Υπηρεσιών	2
Τροφοδοσίας	1
Ενδιαιτημάτων	8
Μαγειρείου	3
Γιατρός	1
Σύνολο	**41**

Κατά τη σχεδίαση του Σχεδίου Γενικής Διάταξης έχει προβλεφθεί και καμπίνα για τον ιδιοκτήτη του υπό μελέτη πλοίου.

Τέλος, θα πρέπει να γίνει ο καθορισμός του ανώτερου πληρώματος (officers), έτσι ώστε να γίνει ο διαχωρισμός σε χώρους/καμπίνες ανώτερου και κατώτερου πληρώματος στο Σχέδιο Γενικής Διάταξης. Τελικά, το ανώτερο πλήρωμα θα απαρτίζεται από τους εξής:

***Ανώτερο Πλήρωμα*: 9**
Πλοίαρχος Α’
Ύπαρχος
Πλοίαρχος Β’
Πλοίαρχος Γ’
Μηχανικός Α’
Μηχανικός Β’
Ηλεκτρολόγος (2)
Οικονομικός Αξιωματικός Α’

7.3. Δείκτης Εξαρτισμού (Equipment Number)

Ο δείκτης εξαρτισμού χρησιμοποιείται για να καθοριστούν τα συστήματα αγκυροβόλησης, πρόσδεσης και ρυμούλκησης του πλοίου. Σύμφωνα με τυποποιημένους πίνακες του νηογνώμονα (BV 2011) επιλέγονται το μέγεθος και το μήκος των αγκύρων του πλοίου, η διάμετρος των καδενών, τα χαρακτηριστικά του σχοινιού ρυμούλκησης, καθώς και ο αριθμός και το μέγεθος των κάβων πρόσδεσης. Τέλος, να αναφέρουμε πως ο δείκτης εξαρτισμού, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του βάρους εξαρτισμού του πλοίου κατά τη φάση υπολογισμού του βάρους άφορτου σκάφους και συγκεκριμένα του βάρους εξοπλισμού. Η πορεία υπολογισμού του δείκτη εξαρτισμού (*EN*) φαίνεται παρακάτω.

Ο δείκτης εξαρτισμού δίνεται από τον τύπο:

$$EN = \Delta^{2/3} + 2Bh + 0.1A \qquad 7.2$$

Όπου:

Δ: εκτόπισμα του πλοίου σε βύθισμα ίσο με το $T_{\Gamma\Phi}$ = 7,78 m,
$\Delta_{\Gamma\Phi}$ = 7133,08 t
B: μέγιστο πλάτος του πλοίου,
B = 26 m
h: ύψος εξάλων (a) σε βύθισμα $T_{\Gamma\Phi}$ συν το ύψος υπερκατασκευών (h_i) με πλάτος μεγαλύτερο του $B/4$ στο κεντρικό διαμήκη άξονα, αγνοώντας τη κυρτότητα:

$$h = a + \sum_i h_i = 14{,}044 \text{ m.}$$

A: πλευρική επιφάνεια εξάλων και υπερκατασκευών στη θερινή ίσαλο πλεύσης,
A = 978,4 m^2

Τελικά προκύπτει:

$$EN = \Delta^{2/3} + 2Bh + 0.1A = 7133{,}08^{2/3} + 2 \cdot 26 \cdot 14{,}044 + 0{,}1 \cdot 978{,}4 = 1198{,}7 \qquad 7.3$$

Από πίνακες του επιλεγμένου νηογνώμονα για το υπό μελέτη πλοίο (BV 2011) βρίσκουμε για πλοία με *EN* = 1220 τα εξής χαρακτηριστικά:

Πίνακας 7.2: Δείκτης Εξαρτισμού

Equipment Number	:	1198,7
Typical Equipment Number	:	1220 (*U26*)
Stockless Anchors		
Bower Anchors Number	:	Three (3)
Weight per Anchor	:	3780 kg
Chain Cable		
Stud Link Bower Chain Length	:	522,5 m
Diameter (Grade 1)	:	62 mm
Diameter (Grade 2)	:	54 mm
Diameter (Grade 3)	:	48 mm
Tow Line		
Minimum Length	:	200 m
Breaking Strength	:	753 kN
Mooring Lines		
Number	:	4
Minimum Length of Each	:	180 m
Minimum Breaking Strength	:	290 kN

7.4. Γραμμή Φόρτωσης

Ο υπολογισμός της Γραμμής Φόρτωσης (Load Line) θα γίνει σύμφωνα με τη Διεθνή Σύμβαση Γραμμής Φόρτωσης του 1966 (ILLC 1966). Αρχικά, θα δοθούν κάποιοι ορισμοί για τα βασικά μεγέθη του πλοίου:

- *Freeboard* Deck (κατάστρωμα εξάλων): Είναι το First Car Deck (8425 A/B), καθώς έχει επιλεγεί ως κύριο κατάστρωμα και μέχρι εκεί εκτείνονται οι στεγανές φρακτές.

- *Κοίλο D*: η απόσταση από την τρόπιδα μέχρι το κατάστρωμα εξάλων. Έχουμε D=8,45m.

- *Κοίλο καταστρώματος εξάλων* D_F: το κοίλο *D* συν το έλασμα του καταστρώματος εξάλων (8mm). Έχουμε D_F=8,433m.

- *Μήκος πλοίου L*: το 96% του ολικού μήκους της ισάλου στο 85% του *D* ή η απόσταση από την Α.Ρ. έως το πρωραίο σημείο της ισάλου αυτής, όποια απόσταση είναι μεγαλύτερη. Λαμβάνουμε την πρώτη περίπτωση και *L*=76,61m.

- *Συντελεστής Γάστρας* C_b: Ορίζεται ως το πηλίκο $\frac{\Delta}{LBd}$, όπου d είναι το βύθισμα στο 85% του *D*, *B* είναι το πλάτος της ημιγάστρας και *Δ* το εκτόπισμα της ημιγάστρας στο βύθισμα αυτό. Λαμβάνουμε τελικά C_b=0,414.

Σύμφωνα με τους κανονισμούς της γραμμής φόρτωσης, τα επιβατηγά πλοία ανήκουν στην κατηγορία πλοίων "*B*" και με *L*=76,61m λαμβάνουμε, με γραμμική παρεμβολή, βασικό ύψος εξάλων *BYE1*=826,37mm. Ακολουθούν οι διάφορες διορθώσεις.

- *Διόρθωση για πλοία κάτω των 100m*: Καμία διόρθωση, *BYE2=BYE1*.

- Διόρθωση για το συντελεστή γάστρας: Έχουμε C_b<0,68, οπότε έχουμε δεν γίνεται καμία διόρθωση, $BYE3 = BYE2$.

- *Διόρθωση για το κοίλο*: Έχουμε D_F=8,433m ≥ 5,11=L/15, οπότε:

$$BYE4 = BYE3 + \left(D_F - \frac{L}{15}\right) R, \text{όπου } R = \frac{L}{0{,}48} \text{για } L \leq 120m, \qquad 7.4$$

$$BYE4 = 826{,}37 + (8{,}433 - 5{,}11)\frac{76{,}61}{0{,}48} = 1357{,}2mm \qquad 7.5$$

- *Διόρθωση για υπερκατασκευές*: Έχουμε υπερκατασκευές πάνω από το First Car Deck καθ' όλο το μήκος *L*. Οπότε, έχουμε δρών μήκος υπερκατασκευών *E*=*L*=76,61m. Για *E*=*L* και *L*=76,61m λαμβάνουμε, με γραμμική παρεμβολή, μείωση του ύψους εξάλων κατά 812,28mm. Οπότε:

$$BYE5 = BYE4 - 812{,}38 = 544{,}8mm \qquad 7.6$$

- *Διόρθωση για τη σιμότητα*: Έχουμε μηδενική σιμότητα άρα και έλλειψη σιμότητας σε σχέση με την κανονική, η οποία δίνεται σε κάθε σημείο του πλοίου από τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 7.3: Κανονική Σιμότητα

	Station	Ordinate (in millimetres)	Factor
	After Perpendicular	25 (L/3 + 10)	1
After half	1/6L from A.P.	11.1 (L/3 + 10)	3
	1/3L from A.P.	2.8 (L/3 + 10)	3
	Amidships	0	1
	Amidships	0	1
Forward half	1/3L from F.P.	5.6 (L/3 + 10)	3
	1/6L from F.P.	22.2 (L/3 + 10)	3
	Forward Perpendicular	50 (L/3 + 10)	1

Η συνολική σιμότητα δίνεται από το άθροισμα των γινομένων της σιμότητας επί τον αντίστοιχο συντελεστή διαιρεμένο διά του 8. Έτσι λαμβάνουμε, με αντικατάσταση του μήκους *L*, μέτρο σιμότητας M_{NF}=592,57mm για το πρωραίο τμήμα και M_{NA}=296,29 για το πρυμναίο τμήμα. Τελικά, το μέσο μέτρο κανονικής σιμότητας ισούται με το μέσο όρο των δύο αυτών μεγεθών, δηλαδή M_N=444,43mm. Αφού έχουμε μηδενική πραγματική σιμότητα, η M_N ισούται με την έλλειψη σιμότητας στην περίπτωση μας. Σύμφωνα με τους κανονισμούς για έλλειψη σιμότητας λαμβάνουμε:

$$BYE6 = BYE5 + \left(0{,}75 - \frac{S}{2L}\right)y = 544{,}8 + \left(0{,}75 - \frac{76{,}61}{2 * 76{,}61}\right)444{,}43$$
$$= 655{,}9\ mm \qquad 7.7$$

$\text{Όπου: } S = L \text{ είναι το ολικό μήκος υπερκατασκευών και}$
$y = \mathrm{M_N}$ είναι η έλλειψη σιμότητας

Ύστερα από τις παραπάνω διορθώσεις, υπολογίσαμε το τελικό ύψος εξάλων που ισούται με 655,9mm. Έτσι, προκύπτει μέγιστο έμφορτο βύθισμα:

$$T_{\Gamma\Phi} = D_F - TYE = 8433 - 655{,}9 = 7777{,}1mm = 7{,}78m \qquad 7.8$$

Παρόλα αυτά, το βύθισμα αυτό είναι μεγαλύτερο από το βύθισμα $T_{scantling}$=4,50m στο οποίο έγινε η μελέτη της αντοχής και αντιστοιχεί στην πιο βαριά κατάσταση φόρτωσης του πειραματικού προτύπου στα πειράματα αντίστασης (Νίκας 2012). Έτσι, ως μέγιστο έμφορτο βύθισμα T_{MAX} θα λάβουμε το $T_{scantling}$ και εκεί θα τοποθετηθεί και μπάλα του Plimsoll (Plimsoll's mark).

$$\boldsymbol{T_{MAX} = T_{scantling} = 4,50\mathrm{m}}$$

Με γνωστό το τελικό μέγιστο έμφορτο βύθισμα, μπορούμε να υπολογίσουμε το μέγιστο βύθισμα Χειμώνα και το μέγιστο βύθισμα Τροπικών Περιοχών, τα οποία μπαίνουν στη μπάλα του Plimsoll. Για τα υπόλοιπα βυθίσματα της μπάλας του Plimsoll που αφορούν την πλεύση σε γλυκό νερό, λαμβάνουμε για το βύθισμα των 4,50m: $\Delta_{\Gamma\Phi}$=2779,26 tons και $TPC_{(T=T\Gamma\Phi)}$=8,37 t/cm και για το βύθισμα γραμμής φόρτωσης των τροπικών περιοχών ($T_{Tropical} = 4{,}594m$): Δ_{Ttrop}=2863,39 tons και $TPC_{(T=Ttrop)}$=8,45 t/cm έτσι θα έχουμε τελικά:

$$T_{Winter} = T_{\Gamma\Phi} - \frac{T_{\Gamma\Phi}}{48} = 4{,}50 - \frac{4{,}50}{48} = 4{,}406m \qquad 7.9$$

$$T_{Tropical} = T_{\Gamma\Phi} + \frac{T_{\Gamma\Phi}}{48} = 4{,}50 + \frac{4{,}50}{48} = 4{,}594\mathrm{m} \qquad 7.10$$

$$T_{Fresh\ Water} = T_{\Gamma\Phi} + \frac{\Delta}{40 * TPC_{T_{\Gamma\Phi}}} = 4{,}50 + \frac{2779{,}26}{40 * 8{,}37} = 4{,}583\mathrm{m} \qquad 7.11$$

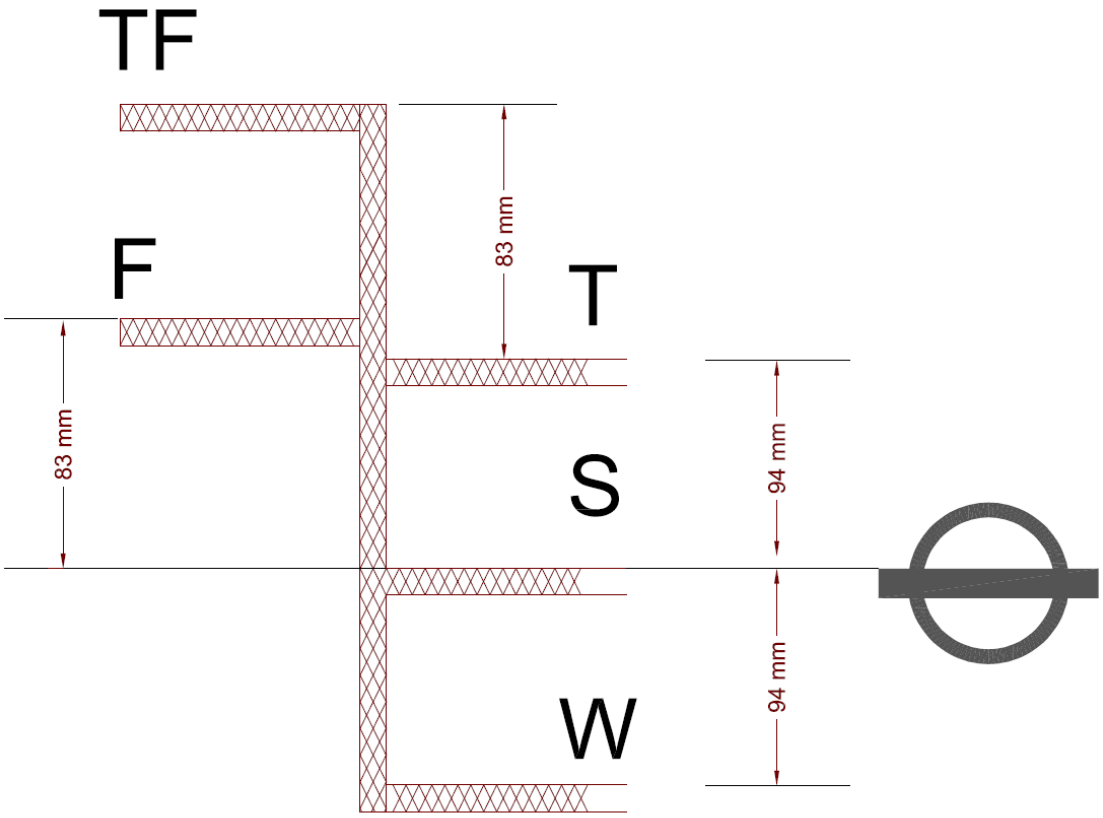
$$T_{Tropical\ \ Fresh\ Water} = T_{Tropical} + \frac{\Delta}{40 * TPC_{T_{\Gamma\Phi}}} = 4{,}594 + \frac{2863{,}39}{40 * 8{,}45} = 4{,}679\mathrm{m} \qquad 7.12$$

Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να ελέγξουμε το ύψος πρώρας. Για πλοία με L≤250m το ελάχιστο απαιτούμενο ύψος πρώρας δίνεται από τον τύπο:

$$F_{bF.P.} = 56L\left(1 - \frac{L}{500}\right)\frac{1{,}36}{\mathrm{C_B} + 0{,}68} = 3321mm \qquad 7.13$$

Το πραγματικό ύψος πρώρας στο πλοίο μας, έως το κατάστρωμα στεγανών φρακτών καθ'ύψος της πρωραίας καθέτου F.P., ισούται με h=8425mm, οπότε $h > F_{bF.P.}$ και ο κανονισμός τηρείται.

Στο **Σχήμα 7.1** φαίνεται η μπάλα του Plimsoll, με τα αντίστοιχα βυθίσματα. Θυμίζουμε ότι: $T_{MAX} = T_{scantling} = 4{,}50\mathrm{m}$



Σχήμα 7.1: Μπάλα του Plimsoll

8. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ AVEVA

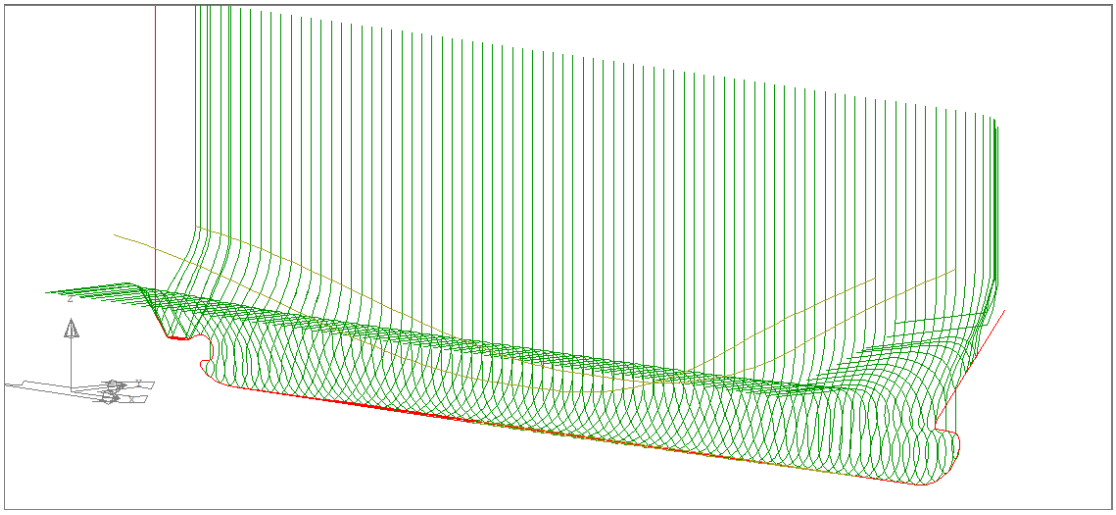
Στο παρόν κεφάλαιο, θα γίνει μια περιγραφή για την διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά τη χρήση των τριών εφαρμογών που ανήκουν στο σχεδιαστικό πακέτο AVEVA και τα οποία χρησιμοποιήσαμε για τη σχεδίαση και μελέτη του υπό μελέτη πλοίου.

8.1. AVEVA Lines

Το πρώτο βήμα για την επεξεργασία των γραμμών του υπό μελέτη πλοίου, είναι να τις εισάγουμε στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AVEVA Lines (Marine Lines 2006). Με τη χρήση του προγράμματος αυτού, μορφοποιούμε τις γραμμές της γάστρας του πλοίου, έτσι ώστε να μπορέσουμε να προχωρήσουμε στη διαμερισματοποίηση του πλοίου στο πρόγραμμα AVEVA Surface & Compartment (Marine Surface 2006). Οι γραμμές αυτές, έχουν προέλθει από τις γραμμές του πειραματικού προτύπου που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα αντίστασης (CARGOXPRESS 2011). Παρακάτω, παρουσιάζονται συνοπτικά τα βήματα που πραγματοποιήθηκαν κατά την επεξεργασία των γραμμών στο πρόγραμμα AVEVA Lines (Marine Lines 2006).

- Εισαγωγή των γραμμών της ημιγάστρας του πειραματικού προτύπου στο πρόγραμμα (Sections, Profile, FOS, FOB).
- Scale σύμφωνα με την κλίμακα που έχει υπολογιστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.
- Μετακίνηση της ημιγάστρας στα 9,48m (διαμήκης άξονας συμμετρίας της ημιγάστρας του υπό μελέτη πλοίου).
- Δημιουργία και εισαγωγή στο πρόγραμμα της υπόλοιπης συμμετρικής ημιγάστρας.
- Σχεδίαση του wet deck.
- Σχεδίαση της καμπυλότητας μεταξύ wet deck και εσωτερικής πλευράς ημιγάστρας.

Στο **Σχήμα 8.1** φαίνεται η μορφή των γραμμών μετά το πέρας των μορφοποιήσεων.



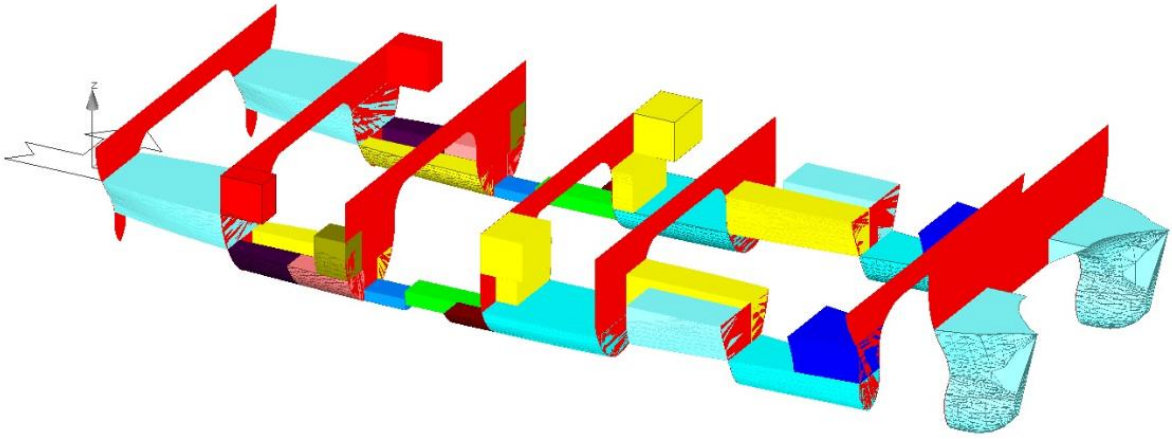
Σχήμα 8.1: Μορφή Γραμμών μετά τη Μορφοποίηση

8.2. AVEVA Surface & Compartment

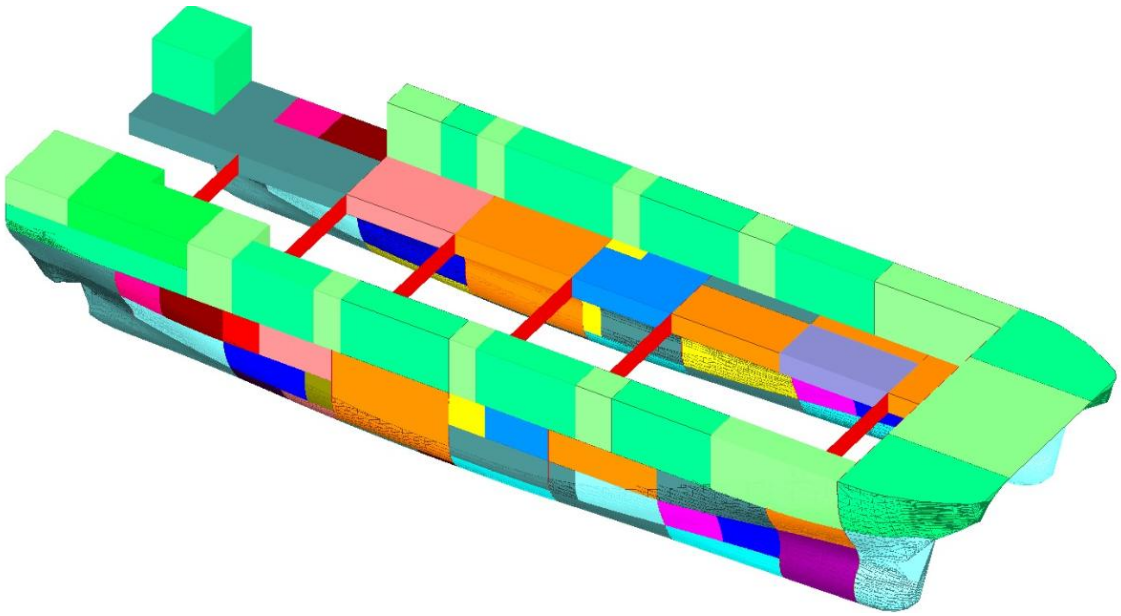
Ύστερα από τη μορφοποίηση των ναυπηγικών γραμμών του υπό μελέτη πλοίου, τις εισάγουμε στο πρόγραμμα AVEVA Surface & Compartment (Marine Surface 2006). Στο πρόγραμμα αυτό θα πραγματοποιήσουμε τη διαμερισματοποίηση του πλοίου μας έως και το First Car Deck. Έτσι, θα μπορέσουμε να καταστρώσουμε τις καταστάσεις φόρτωσης στο πρόγραμμα AVEVA Hydrostatics & Hydrodynamics (Marine CalcM 2006), έτσι ώστε να μελετήσουμε την άθικτη ευστάθεια και την ευστάθεια του πλοίου μετά από βλάβη. Παρακάτω, παρουσιάζονται συνοπτικά τα βήματα που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διαμερισματοποίηση του υπό μελέτη πλοίου.

- Εισαγωγή της γάστρας από το πρόγραμμα AVEVA Surface & Compartment (Marine Lines 2006).
- Τοποθέτηση φρακτών και καταστρωμάτων.
- Ορισμός των διάφορων δεξαμενών στα κατώτερα καταστρώματα. Ο όγκος τους βασίστηκε στους υπολογισμούς που έγιναν στο κεφάλαιο 'ΑΝΑΛΥΣΗ DWT'.
- Ορισμός όλων των υπόλοιπων χώρων μέχρι και το First Car Deck (χώροι εργασίας, μηχανοστάσια, χώροι μηχανημάτων, bow thrusters, κλιμακοστάσια, αποθήκες, τουαλέτες, ανελκυστήρες, κενοί χώροι κλπ).

Όλοι οι χώροι, τα καταστρώματα και οι φρακτές του υπό μελέτη πλοίου τοποθετήθηκαν βάσει του Σχεδίου Γενικής Διάταξης. Στο **Σχήμα 8.2** παρουσιάζεται η μορφή του πλοίου μετά τον ορισμό των δεξαμενών και στο **Σχήμα 8.3** μετά τον ορισμό και των διαφόρων διαμερισμάτων.



Σχήμα 8.2: AVEVA Surface - Εισαγωγή Δεξαμενών



Σχήμα 8.3: AVEVA Surface - Πλήρης Διαμερισματοποίηση

8.3. AVEVA Hydrostatics & Hydrodynamics

Ύστερα από τη διαμερισματοποίηση των χώρων του πλοίου, εισάγουμε την τελική μορφή του πλοίου στο πρόγραμμα AVEVA Hydrostatics & Hydrodynamics (Marine CalcM). Στο πρόγραμμα αυτό μπορούν να γίνουν υδροστατικοί υπολογισμοί για τη γάστρα του πλοίου, καθώς και να καταστρωθούν οι καταστάσεις φόρτωσης. Τα βήματα που έγιναν περιγράφονται παρακάτω.

- Εισαγωγή της μορφής της γάστρας από το πρόγραμμα AVEVA Surface & Hydrodynamics (Marine Surface 2006).
- Ορισμός για κάθε δεξαμενή και χώρο, της διαχωρητότητας σύμφωνα με τους κανονισμούς της SOLAS (SOLAS 1990).
- Ορισμός για κάθε δεξαμενή, του φορτίου της και της πυκνότητας του.
- Εξαγωγή τομών σε διάφορα μήκη και ύψη, έτσι ώστε να τοποθετηθεί η ακριβής θέση των δεξαμενών στο Σχέδιο Γενικής Διάταξης.
- Υπολογισμός των υδροστατικών χαρακτηριστικών της γάστρας.
- Υπολογισμός καταστάσεων φόρτωσης
- Μελέτη ευστάθειας άθικτης κατάστασης
- Μελέτη ευστάθειας μετά από βλάβη

Οι καταστάσεις φόρτωσης θα αναλυθούν στα επόμενα δύο υποκεφάλαια. Τα υδροστατικά χαρακτηριστικά της γάστρας, οι δεξαμενές του πλοίου καθώς και όλες οι αναλυτικές καταστάσεις φόρτωσης περιέχονται στο Stability Booklet του υπό μελέτη πλοίου. Αυτό παρέχεται σε ηλεκτρονική μορφή, καθώς κρίθηκε αδύνατο από πλευράς χώρου να χωρέσει στην παρούσα έκθεση.

Μελέτη άθικτης ευστάθειας (Intact Stability)

Για την μελέτη της άθικτης ευστάθειας του πλοίου, καταστρώθηκε μια σειρά από πιθανές καταστάσεις φόρτωσης, οι οποίες αναφέρονται σε διαφορετικά Payloads και σε καταστάσεις αναχώρησης και άφιξης. Για κάθε κατάσταση ορίστηκε το φορτίο, το βάρος Κενού Σκάφους, τα σταθερά βάρη και η επί τοις εκατό πληρότητα κάθε δεξαμενής. Κατά τους ορισμούς της πληρότητας των δεξαμενών φροντίσαμε το τελικό βάρος κάθε κατηγορίας δεξαμενών, να ισούται κατά το δυνατόν με το αντίστοιχο βάρος που υπολογίστηκε στο κεφάλαιο 'ΑΝΑΛΥΣΗ DWT'. Το βάρος αυτό αντιστοιχεί σε καύσιμα για 3 μέρες, συν ένα ποσοστό ασφαλείας 20%. Στην κατάσταση άφιξης, θεωρήθηκε ότι οι έχουν καταναλωθεί τα καύσιμα και τα διάφορα υγρά των 3 ημερών, καθώς και ένα ποσοστό από το υπόλοιπο 20%, έτσι ώστε να ελεγχθεί η ευστάθεια στην πιο δυσμενή κατάσταση.

Οι 10 καταστάσεις φόρτωσης που μελετήθηκαν παρουσιάζονται παρακάτω:

- *Full Load Departure*: Στην κατάσταση αυτή όλο το First Car Deck φορτώνεται με φορτηγά οχήματα (344m lanes). Συγκεκριμένα, θεωρούμε πως έχουν φορτωθεί 20 δεκαεξάμετρα φορτηγά βάρους 27 τόνων το κάθε ένα, και 2 δωδεκάμετρα φορτηγά βάρους 20 τόνων το κάθε ένα. Το Second Car Deck έχει φορτωθεί με Ι.Χ. επιβατηγά (122 cars, βάρους 1,6 t το κάθε ένα). Επίσης, υπολογίζονται ως επιβάτες, οι επιβάτες θέρους (1175 άτομα, βάρους 95kg/άτομο), οι οποίοι είναι και οι μέγιστοι επιβάτες που μπορούν να επιβιβαστούν στο υπό μελέτη πλοίο. Όλες οι δεξαμενές καυσίμων και εφοδίων είναι γεμάτες για 3 ημέρες.
- *Full Load Arrival*: Ίδια με παραπάνω, με τις δεξαμενές καυσίμων και εφοδίων σε κατάσταση άφιξης μετά την πάροδο των 3 ημερών.
- *Only Passengers Departure*: Στην κατάσταση αυτή υπολογίζονται όλοι οι επιβάτες θέρους (1175 άτομα, βάρους 95kg/άτομο) ενώ δε φορτώνονται οχήματα. Όλες οι δεξαμενές καυσίμων και εφοδίων είναι γεμάτες για 3 ημέρες.
- *Only Passengers Arrival*: Ίδια με παραπάνω, με τις δεξαμενές καυσίμων και εφοδίων σε κατάσταση άφιξης μετά την πάροδο των 3 ημερών.
- *Winter Departure*: Στην κατάσταση αυτή υπολογίζονται οι επιβάτες χειμώνα (771 άτομα, βάρους 95kg/άτομο) ενώ φορτώνεται το 30% των δύο καταστρωμάτων οχημάτων. Το ποσοστό αυτό αντιστοιχεί σε 105m lanes φορτηγών στο First Car Deck και σε 38 Ι.Χ. επιβατηγά στο Second Car Deck. Όλες οι δεξαμενές καυσίμων και εφοδίων είναι γεμάτες για 3 ημέρες.
- *Winter Arrival*: Ίδια με παραπάνω, με τις δεξαμενές σε κατάσταση άφιξης μετά την πάροδο των 3 ημερών.
- *70% Passengers & 50% Vehicles Departure*: Στην κατάσταση αυτή υπολογίζεται πως επιβιβάζεται στο πλοίο το 70% του συνολικού αριθμού επιβατών θέρους (822 άτομα, βάρους 95kg/άτομο) ενώ φορτώνεται το 50% των δύο καταστρωμάτων οχημάτων. Το ποσοστό αυτό αντιστοιχεί σε 172m lanes φορτηγών στο First Car Deck και σε 61 Ι.Χ. επιβατηγά στο Second Car Deck. Όλες οι δεξαμενές καυσίμων και εφοδίων είναι γεμάτες για 3 ημέρες.
- *70% Passengers & 50% Vehicles Arrival*: Ίδια με παραπάνω, με τις δεξαμενές καυσίμων και εφοδίων σε κατάσταση άφιξης μετά την πάροδο των 3 ημερών.
- Empty Departure: Στην κατάσταση αυτή δεν υπολογίζονται επιβάτες και οχήματα, ενώ το βάρος Deadweight περιλαμβάνει μόνο το βάρος των δεξαμενών καυσίμων και εφοδίων (για 3 ημέρες) και το βάρος του πληρώματος.
- Empty Arrival: Ίδια με παραπάνω, με τις δεξαμενές καυσίμων και εφοδίων σε κατάσταση άφιξης μετά την πάροδο των 3 ημερών.

Σε κάθε κατάσταση φόρτωσης, έγινε έλεγχος για τη διαμήκη διαγωγή και την ικανοποίηση επιλεγμένων κανονισμών του ΙΜΟ. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί πως αφού το υπό μελέτη πλοίο δεν είναι ταχύπλοο, δε συγκαταλέγεται κανονικά στους κανονισμούς ευστάθειας ταχυπλόων σκαφών (HSCC 1994). Επίσης, επειδή το υπό μελέτη πλοίο δεν είναι μονόγαστρο, θεωρήθηκε κατ' αρχήν πιθανόν οι κανονισμοί μονόγαστρων επιβατηγών πλοίων (Res.A.749(18) 1993) να μην είναι κατάλληλοι για την περίπτωσή μας. Για το λόγο αυτό, θα γίνει εφαρμογή και των δύο κανονισμών, προκειμένου να εξαχθούν πιο πλήρη και ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με τα χαρακτηριστικά ευστάθειας του πλοίου σε άθικτη κατάσταση. Όπως ήταν αναμενόμενο, η μόνη απαίτηση που τελικά δεν ικανοποιείται είναι η απαίτηση για εμφάνιση του μέγιστου μοχλοβραχίονα επαναφοράς *GZ* σε μια γωνία μεγαλύτερη από 30 μοίρες, όπως αναφέρεται στους κανονισμούς για τα μονόγαστρα επιβατηγά πλοία (Res.A.749(18) 1993). Ο αντίστοιχος κανονισμός για τα ταχύπλοα σκάφη (HSCC 1994) ικανοποιείται καθώς απαιτεί εμφάνιση του μέγιστου *GZ* με μια γωνία μεγαλύτερη των 10 μοιρών. Όπως παρατηρήθηκε σε όλες τις καταστάσεις, το μέγιστο *GZ* εμφανίζεται μεταξύ 15 και 25 μοιρών. Όσον αφορά στην ευστάθεια του πλοίου, παρατηρούμε πως το *GM* κυμαίνεται από 20m έως 30m. Συνεπώς έχουμε πολύ μεγάλο εύρος ευστάθειας, γεγονός που ήταν αναμενόμενο, λόγω του τύπου του πλοίου.

Παρακάτω, στον **Πίνακα 8.1**, φαίνονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα για όλες τις καταστάσεις φόρτωσης που περιγράψαμε παραπάνω. Η πλήρης αναφορά για κάθε κατάσταση φόρτωσης, περιέχεται στο Loading Manual του υπό μελέτη πλοίου που συνοδεύει την παρούσα εργασία και έχει δοθεί σε ηλεκτρονική μορφή.

Πίνακας 8.1: Αποτελέσματα Άθικτης Ευστάθειας Καταστάσεων Φόρτωσης

	Full Load Departure	Full Load Arrival	Only Passengers Departure	Only Passengers Arrival	Winter Departure	Winter Arrival	70% Passengers & 50% Vechicles Departure	70% Passengers & 50% Vechicles Departure	Empty Departure	Empty Arrival
Deadweight [t]	925.4	851.8	241.4	167.8	378.4	304.7	541.4	467.8	100.0	26.4
Displacement [t]	2789.2	2715.6	2105.2	2031.6	2242.2	2168.5	2405.2	2331.6	1963.8	1890.2
T_M[2] [m]	4.511	4.418	3.657	3.560	3.835	3.738	4.034	3.938	3.476	3.380
T_A[3] [m]	4.522	4.505	3.844	3.306	3.765	3.882	4.199	4.181	3.653	3.620
T_F[4] [m]	4.501	4.330	3.470	3.306	3.765	3.595	3.869	3.694	3.299	3.139
T_F[5] [m]	4.512	4.424	3.664	3.569	3.838	3.745	4.044	3.952	3.480	3.385
Trim[6] [m]	0.021	0.176	0.375	0.510	0.139	0.287	0.330	0.487	0.355	0.481
KG [m]	10.222	10.331	9.948	10.084	9.977	10.105	10.079	10.201	9.667	9.802
LCG [m]	37.359	37.251	37.643	37.509	37.826	37.706	37.397	37.272	37.795	37.656
LCB [m]	37.357	37.232	37.604	37.453	37.812	37.675	37.362	37.220	37.758	37.605
LCF [m]	34.474	34.383	35.665	35.846	35.247	35.472	34.696	34.859	36.134	36.279
BM_T [m]	28.017	28.585	34.820	35.993	32.801	33.890	31.236	32.173	36.782	38.027
GM_T [m]	20.376	20.785	26.973	27.946	25.015	25.927	23.467	24.236	29.099	30.156

[2] το βύθισμα στο μέσο του πλοίου
[3] το βύθισμα στην Α.Ρ.
[4] το βύθισμα στην F.P.
[5] το βύθισμα στο κέντρο πλευστότητας
[6] θετική διαγωγή αντιστοιχεί σε έμπρυμνη διαγωγή

Μελέτη ευστάθειας ύστερα από βλάβη (Damage Stability)

Η μελέτη της ευστάθειας ύστερα από βλάβη, πραγματοποιήθηκε μόνο για την κατάσταση αναχώρησης πλήρους φορτίου 'Full Load Departure', καθώς αυτή κρίθηκε η πιο δυσμενής. Κατά τη μελέτη της, χρησιμοποιήθηκαν και οι κανονισμοί συμβατικών πλοίων για κατάκλυση δύο διαμερισμάτων (SOLAS 1990) και οι κανονισμοί ταχύπλοων πλοίων (HSCC 1994), για τους λόγους που εξηγήθηκαν προηγουμένως. Συνολικά, μελετήθηκαν 16 (8 στην Port side και 8 στην Starboard side) καταστάσεις κατάκλυσης δύο οποιονδήποτε διαδοχικών διαμερισμάτων (το υπό μελέτη πλοίο είναι χωρισμένο σε 9 υδατοστεγή διαμερίσματα από 8 υδατοστεγείς φρακτές). Σε κάθε κατάσταση ορίστηκαν οι επιμέρους χώροι που κατακλύζονται. Η διαχωρητότητα του κάθε χώρου, η οποία εισάγεται στο πρόγραμμα, ορίζεται στους διεθνείς κανονισμούς της SOLAS (SOLAS 1990) και παρουσιάζεται παρακάτω:

Χώροι Φορτίου ή Αποθήκες:	60%
Χώροι Ενδιαίτησης:	95%
Χώροι Μηχανοστασίου:	85%
Δεξαμενές Υγρών:	0% ή 95% (όποιο έχει πιο δυσμενές αποτέλεσμα)

Τελικώς, διαπιστώθηκε ότι ικανοποιούνται και οι 2 κανονισμοί που χρησιμοποιήθηκαν για όλες τις πιθανές βλάβες που μελετήθηκαν. Η πλήρης αναφορά για κάθε σενάριο βλάβης, περιέχεται στο Loading Manual του υπό μελέτη πλοίου που συνοδεύει την παρούσα εργασία και έχει δοθεί σε ηλεκτρονική μορφή.

Παρακάτω στους δύο πίνακες που ακολουθούν, φαίνονται τα αποτελέσματα της ευστάθειας μετά από βλάβη, και για τους δύο εφαρμοσμένους κανονισμούς. Επίσης, φαίνονται οι ελάχιστες απαιτήσεις των κριτηρίων.

Παρατηρούμε, πως η δυσμενέστερη κατάσταση εμφανίστηκε κατά την κατάκλυση των διαμερισμάτων 4 & 5 (Frame 60 – Frame 73 & Frame 49 – Frame 60 αντίστοιχα), στην Starboard πλευρά. Σε αυτή την περίπτωση βλάβης, παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη εγκάρσια κλίση, ίση με 5,43 μοίρες. Παρ' όλα αυτά, το περιθώριο ευστάθειας είναι ικανοποιητικό, και όπως είναι εμφανές, τα αποτελέσματα δίνουν αρκετά μεγαλύτερες τιμές από τις ελάχιστες απαιτούμενες των κανονισμών.

Πίνακας 8.2: Αποτελέσματα Ευστάθειας Μετά από βλάβη – Έλεγχος με τα κριτήρια του HSCC

High Speed Craft (HSC) Code damaged					
	CRITERIA / Flooding Compartments	Angle of heel due to beam winds <= 15 degrees	Area A2 >= 0.028 m-rad	Maximum GZ to be at least 0.05 m	Positive range of stability > 7 degrees
Critical Value	→	15	0.028	0.050	7.00
Damage at Port Side	1-2	0.984	0.998	6293	49205
	2-3	2.542	0.998	6.048	47.658
	3-4	4.929	0.996	5.722	45.267
	4-5	5.595	0.999	6.150	44.597
	5-6	5.569	1.001	6.335	44.617
	6-7	5.122	1.001	6.227	45.079
	7-8	4.359	1.001	6.091	45.844
	8-9	2.866	1.002	5.849	47.353
Damage at Starboard Side	1-2	0.984	0.998	6.348	49.205
	2-3	2.610	1.000	6.037	47.598
	3-4	5.119	0.997	5.757	45.079
	4-5	5.626	0.999	6.151	44.569
	5-6	5.580	1.002	6.457	44.617
	6-7	5.122	1.002	6.456	45.079
	7-8	4.359	0.998	5.791	45.844
	8-9	2.866	1.002	5.796	47.353

Πίνακας 8.3: Αποτελέσματα Ευστάθειας Μετά από βλάβη – Έλεγχος με τα κριτήρια της SOLAS 90

1992 PASSENGER Ship Rules (Two or more comp. flooding)						
	CRITERIA / Flooding Compartments	Range of positive GZ to be > 15 degrees	Area under GZ curve up to 27 degrees or down-flood > 0.015	Maximum GZ to be at least 0.10 metres within positive range	GM at least 0.05m in equilibrium position after flooding	Maximum GZ to be at least 0.05 metres within positive range
Critical Value	→	**15**	**0.015**	**0.100**	**0.050**	**0.050**
Damage at Port Side	1-2	49.205	1.838	6.293	20.009	6.293
	2-3	47.658	1.606	6.048	18.789	6.048
	3-4	45.267	1.319	5.722	18.469	5.722
	4-5	44.597	1.337	6.150	17.562	6.150
	5-6	44.617	1.360	6.335	17.558	6.335
	6-7	45.079	1.389	6.227	17.879	6.227
	7-8	45.844	1.447	6.091	18.033	6.091
	8-9	47.353	1.524	5.849	18.188	5.849
Damage at Starboard Side	1-2	49.205	1.845	6.348	19.921	6.295
	2-3	47.598	1.573	6.037	18.157	6.075
	3-4	45.079	1.296	5.757	18.993	5.737
	4-5	44.569	1.320	6.151	19.348	6.147
	5-6	44.617	1.377	6.457	19.180	6.328
	6-7	45.079	1.422	6.456	18.756	6.231
	7-8	45.844	1.392	5.791	18.521	6.095
	8-9	47.353	1.515	5.796	17.230	5.852

9. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με τον υπολογισμό της αντίστασης του υπό μελέτη πλοίου, έτσι ώστε να είναι δυνατή η επιλογή των κυρίων μηχανών πρόωσης. Για τον παραπάνω υπολογισμό, θα χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στο πειραματικό πρότυπο στη δεξαμενή της σχολής (Νίκας 2012). Ακολούθως, θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος Hughes για τον υπολογισμό της αντίστασης του υπό μελέτη πλοίου. Παρακάτω, φαίνονται κάποια υδροστατικά στοιχεία του πειραματικού προτύπου για διάφορες καταστάσεις φόρτωσης.

Πίνακας 9.1: Υδροστατικά Στοιχεία Μοντέλου

A/A	Trim	Lwl [m]	T [m]	Disp [t]	Vol [m^3]	WSA [m^2]
A1	0	3,309	0,146	0,143	0,146	2,490
A2	0	3,248	0,161	0,164	0,162	2,719
A3	0	3,233	0,186	0,198	0,197	3,061
B3	-0,5	3,233	0,186	0,198	0,197	3,059
C2	-1	3,329	0,161	0,164	0,162	2,703

Να σημειωθεί πως για την επιλογή των κύριων μηχανών πρόωσης, θα χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματα της ισοβύθιστης κατάστασης με το μεγαλύτερο βύθισμα αφού αυτή θα παρουσιάσει τη μεγαλύτερη συνολική αντίσταση καθώς έχει τη μεγαλύτερη βρεχόμενη επιφάνεια (*WSA*). Η κατάσταση, λοιπόν, που επιλέγεται για τον υπολογισμό της αντίστασης του υπό μελέτης πλοίου είναι η A_3.

Σημειώνουμε πως υπολογισμός της αντίστασης γίνεται και για τις υπόλοιπες καταστάσεις πλεύσης, και φαίνεται στο Παράρτημα ''Ζ''. Επίσης, στο τέλος του κεφαλαίου αυτού, θα γίνει παρουσίαση των αποτελεσμάτων αντίστασης και ισχύος πρόωσης και για τις πέντε καταστάσεις πλεύσης.

Αναλυτικά παρακάτω, θα γίνει ο υπολογισμός της αντίστασης μόνο για την κατάσταση πλεύσης A_3.

Για το υπό μελέτη πλοίο μπορούμε να υπολογίσουμε όλα τα απαραίτητα στοιχεία που χρειάζονται για τον υπολογισμό της αντίστασής του, μέσω των ναυπηγικών γραμμών και του Σχεδίου Γενικής Διάταξης. Για το βύθισμα που αντιστοιχεί στην κατάσταση A_3 του προτύπου, θα έχουμε λοιπόν:

Πίνακας 9.2: Στοιχεία Υπό Μελέτη Πλοίου

Ship	
Lwl [m]	76,63
Wetted Surface [m^2]	1719,09
T [m]	4,42
Volume [m^3]	2623,12

Για την κινηματική συνεκτικότητα του θαλασσινού νερού θεωρούμε την τιμή ν=1,1883x10^{-6} και για την πυκνότητα ρ = 1,025 t/m^3.

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν. Τα αποτελέσματα αφορούν την κατάσταση φόρτωσης A_3 και την ισαπόσταση S_2 (800mm). Η ισαπόσταση αυτή έχει επιλεχθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Πίνακας 9.3: Αποτελέσματα Δοκιμών – Κατάσταση A_3

V_M	R_M	RN_M	CT_M	CF_M	C_R	FN
m/s	**Kp**	***10^-6**	***10^3**	***10^3**	***10^3**	
0,834	0,544	2,58	5,02	3,854	1,166	0,148
0,939	0,714	2,905	5,197	3,765	1,432	0,167
1,046	0,889	3,236	5,215	3,687	1,528	0,186
1,154	1,091	3,57	5,258	3,619	1,639	0,205
1,26	1,285	3,898	5,195	3,559	1,636	0,224
1,364	1,506	4,22	5,195	3,506	1,689	0,242
1,47	1,732	4,548	5,144	3,457	1,687	0,261
1,576	2,12	4,875	5,478	3,413	2,066	0,28
1,681	2,659	5,2	6,039	3,372	2,667	0,298
1,787	2,98	5,528	5,989	3,335	2,655	0,317
1,894	3,187	5,859	5,702	3,299	2,403	0,336
1,999	3,381	6,184	5,43	3,267	2,163	0,355
2,103	4,06	6,506	5,892	3,237	2,655	0,373
2,207	5,513	6,827	7,264	3,209	4,055	0,392
2,31	7,396	7,146	8,896	3,183	5,713	0,41

Ακολουθεί ο υπολογισμός της αντίστασης του υπο μελέτη πλοίου σύμφωνα με τη μέθοδο Hughes.

9.1. Μέθοδος Hughes

Αρχικά, για να εκτελεστεί η μέθοδος Hughes, θα πρέπει αν αναφερθούν τα βασικά χαρακτηριστικά και οι παραδοχές της. Γενικά, ο συντελεστής ολικής αντίστασης C_T μπορεί να αναλυθεί ως εξής:

$$C_T(Re, Fn) = C_R(Re, Fn) + C_F(Re) \qquad 9.1$$

Στην παραπάνω σχέση, το C_R είναι ο συντελεστής υπόλοιπης αντίστασης και το C_F ο συντελεστής αντίστασης τριβής. Ο C_R μπορεί να αναλυθεί περαιτέρω ως εξής:

$$C_R(Re,, Fr) = C_W(Fr) + C_{FORM}(Re, Fr) \qquad 9.2$$

Το βασικό χαρακτηριστικό της μεθόδου του Hughes είναι πως ο ο συντελεστής αντίστασης μορφής C_{FORM} τίθεται προσγγιστικά ίσος με:

$$C_{FORM}(Re, Fr) = k \cdot C_F(Re) \qquad 9.3$$

Ο αδιάστατος συντελεστής *k* θεωρείται σταθερός σε όλο το εύρος των ταχυτήτων για ένα συγκεκριμένο βύθισμα. Για τον πειραματικό προσδιορισμό του, πραγματοποιούνται πειράματα σε πολύ μικρές ταχύτητες και άρα μικρούς αριθμούς Froude όπου η αντίσταση κυματισμού C_W μπορεί να θεωρηθεί ίση με το μηδέν. Από τη διπλωματική εργασία του Κωνσταντίνου Νίκα (Νίκας 2012) έχουμε πως ο συντελεστής *k* ισούται με 0,260904.

Πλέον, χρησιμοποιώντας τις προηγούμενες σχέσεις έχουμε για το συντελεστή ολικής αντίστασης:

$$\begin{aligned} C_T &= C_R + C_F = (C_{FORM} + C_W) + C_F = (k \cdot C_F + C_W) + C_F \\ &= (1+k) \cdot C_F + C_W \end{aligned} \qquad 9.4$$

Η υπόθεση του Hughes, αναφέρει πως για σταθερό αριθμό Froude ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού C_W παραμένει σταθερός σε κλίμακα μοντέλου και πλοίου. Ο συντελεστής C_W του μοντέλου μπορεί να υπολογισθεί από την παραπάνω σχέση αφού γνωρίζουμε το συντελεστή *k*, έχουμε υπολογίσει πειραματικά το C_T και μπορούμε να υπολογίσουμε το συντελεστή τριβής μέσω της παρακάτω σχέσης (καμπύλη ITTC):

$$C_F = \frac{0.075}{(\log_{10} Re - 2)^2}, \qquad \text{όπου} \quad Re = \frac{V \cdot L}{\nu} \qquad 9.5$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω, προκύπτει ο παρακάτω **Πίνακας 9.4** υπολογισμού της C_W.

Για το υπό μελέτη πλοίο διατηρούμε σταθερούς τους συντελεστές C_W και k, και υπολογίζουμε το συντελεστή C_F όπως στο μοντέλο (καμπύλη ITTC). Επίσης υπολογίζουμε τον αριθμό Froude μέσω της σχέσης:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}} \qquad 9.6$$

Έτσι προκύπτει ο **Πίνακας 9.5** υπολογισμού του συντελεστή C_T του υπό μελέτη πλοίο.

Πίνακας 9.4: Υπολογισμός Συντελεστή C_W Μοντέλου

V_M (m/s)	RE_M	C_{FM}	C_{TM}*10^3	C_{TM}	C_W
0,83	2430113	0,00390	5,020	0,00502	0,00010
0,94	2736063	0,00381	5,197	0,00520	0,00039
1,05	3047840	0,00373	5,215	0,00522	0,00051
1,15	3362531	0,00366	5,258	0,00526	0,00064
1,26	3671394	0,00360	5,195	0,00520	0,00066
1,36	3974430	0,00355	5,195	0,00520	0,00072
1,47	4283294	0,00350	5,144	0,00514	0,00074
1,58	4592157	0,00345	5,478	0,00548	0,00113
1,68	4898106	0,00341	6,039	0,00604	0,00174
1,79	5206970	0,00337	5,989	0,00599	0,00174
1,89	5518747	0,00334	5,702	0,00570	0,00150
2,00	5824696	0,00330	5,430	0,00543	0,00127
2,10	6127732	0,00327	5,892	0,00589	0,00177
2,21	6430768	0,00324	7,264	0,00726	0,00317
2,31	6730890	0,00322	8,896	0,00890	0,00484

Πίνακας 9.5: Υπολογισμός Συντελεστή C_T Υπό Μελέτη Πλοίου

V_S (m/s)	FN_S	RE_S	C_{FS}	C_W	C_{TS}
4,06	0,15	261810781,7	0,001821	0,000103	0,002799
4,57	0,17	294772570,7	0,001792	0,000394	0,003053
5,09	0,19	328362203,4	0,001766	0,000512	0,003139
5,62	0,20	362265757,9	0,001743	0,000643	0,003241
6,13	0,22	395541468,7	0,001723	0,000657	0,003230
6,64	0,24	428189336,0	0,001705	0,000724	0,003275
7,16	0,26	461465046,8	0,001689	0,000736	0,003265
7,67	0,28	494740757,7	0,001674	0,001127	0,003637
8,18	0,30	527702546,8	0,001660	0,001740	0,004232
8,70	0,32	560978257,6	0,001647	0,001738	0,004214
9,22	0,34	594567890,3	0,001634	0,001496	0,003957
9,73	0,35	627529679,3	0,001623	0,001265	0,003712
10,24	0,37	660177546,6	0,001613	0,001766	0,004199
10,74	0,39	692825413,9	0,001603	0,003174	0,005595
11,25	0,41	725159359,3	0,001594	0,004839	0,007248

Τέλος, θα πρέπει να υπολογισθεί η απαιτούμενη ισχύς πρόωσης για την κίνηση του πλοίου στην επιθυμητή ταχύτητα V_s. Η ισχύς αυτή υπολογίζεται μέσω της σχέσης:

$$EHP = R_{TS} \cdot V_S \qquad 9.7$$

όπου R_{TS} είναι η ολική αντίσταση του πλοίου και υπολογίζεται μέσω της σχέσης:

$$R_{TS} = \frac{1}{2} \cdot C_{TS} \cdot \rho_S \cdot V_S^2 \cdot S_S \qquad 9.8$$

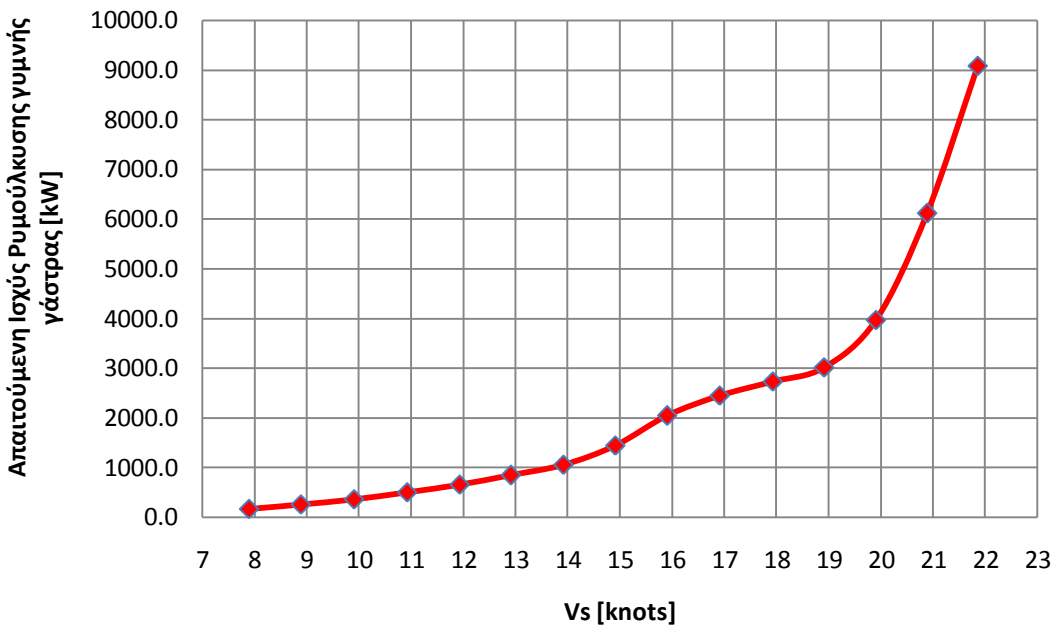
όπου S_S είναι η βρεχόμενη επιφάνεια του υπό μελέτη πλοίου.

Ύστερα από την εφαρμογή των παραπάνω σχέσεων, προκύπτει η απαιτούμενη ισχύς πρόωσης γυμνής γάστρας *EHP* για την εκάστοτε ταχύτητα κίνησης του πλοίου.

Πίνακας 9.6: Τελική Προκύπτουσα Αντίσταση & Απαιτούμενη Ισχύς Ρυμούλκησης Γυμνής Γάστρας

V_S (kn)	R_{TS} (kN)	EHP (kW)
8	406,5	165,0
9	562,1	256,9
10	717,0	365,1
11	901,2	506,3
12	1070,5	656,7
13	1272,1	844,7
14	1473,3	1054,3
15	1886,2	1447,2
16	2497,2	2043,5
17	2809,9	2444,5
18	2963,8	2732,7
19	3097,2	3014,0
20	3877,5	3969,7
21	5689,7	6113,1
22	8075,9	9081,7

Παρακάτω φαίνεται το διάγραμμα ισχύος ρυμούλκησης γυμνής γάστρας του πλοίου, συναρτήσει της ταχύτητας:

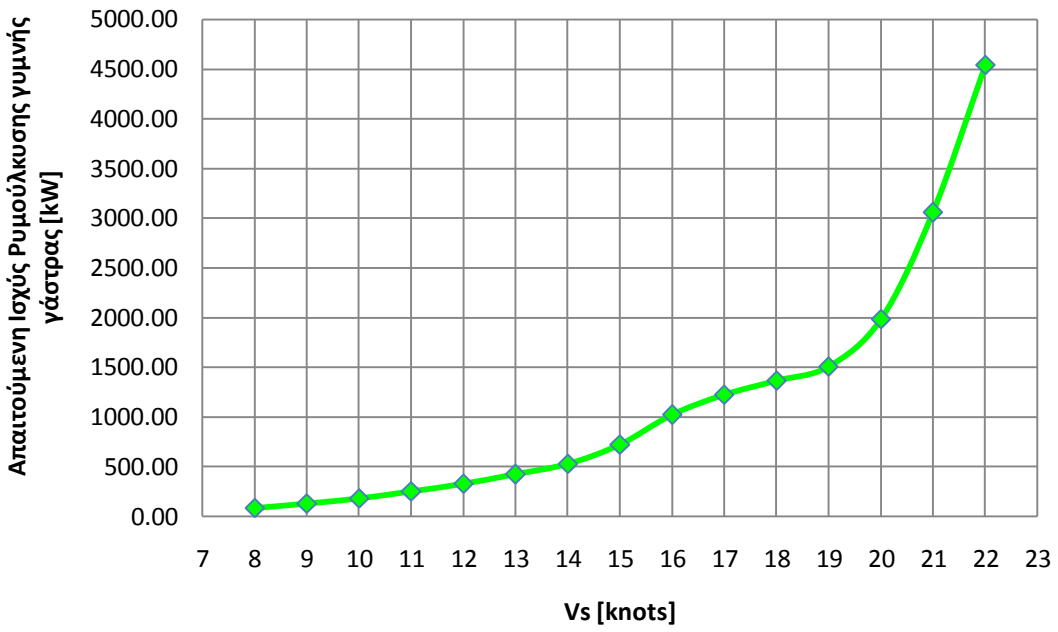


Σχήμα 9.1: Διάγραμμα Απαιτούμενης Ισχύος Ρυμούλκησης Γυμνής Γάστρας ως Συνάρτηση της Ταχύτητας

Καθώς το πλοίο είναι δίγαστρο, η συνολική αντίσταση θα ισομοιράζεται στις δύο ημιγάστρες. Έτσι λοιπόν, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας, που αφορά τη μια μόνο ημιγάστρα του πλοίου.

Πίνακας 9.7: Τελική προκύπτουσα αντίσταση & Απαιτούμενη Ισχύς Ρυμούλκησης Γυμνής Γάστρας για τη μια Ημιγάστρα του πλοίου

V_S (kn)	R_{TS} (kN)	EHP (kW)
8	203,25	82,50
9	281,05	128,45
10	358,50	182,55
11	450,60	253,15
12	535,25	328,35
13	636,05	422,35
14	736,65	527,15
15	943,10	723,60
16	1248,60	1021,75
17	1404,95	1222,25
18	1481,90	1366,35
19	1548,60	1507,00
20	1938,75	1984,85
21	2844,85	3056,55
22	4037,95	4540,85



Σχήμα 9.2: Διάγραμμα Απαιτούμενης Ισχύος Ρυμούλκησης Γυμνής Γάστρας της μια μόνο Ημιγάστρας, ως Συνάρτηση της Ταχύτητας

9.2. Επιλογή Κύριας Μηχανής

Στο σημείο αυτό, έχοντας υπολογίσει την ολική αντίσταση ρυμούλκησης του πλοίου, θα επιλέξουμε τις κύριες μηχανές πρόωσης. Για την επιλογή των κυρίων μηχανών, θα πρέπει να γνωρίζουμε το συνολικό βαθμό απόδοσης της όλης εγκατάστασης, καθώς και τις απαιτήσεις σε ισχύ και στροφές ανά λεπτό των ελικών του πλοίου. Για το λόγο αυτό, πριν την επιλογή κύριας μηχανής, κάνουμε υπολογισμό των βασικών χαρακτηριστηκών των ελικών που θα χρησιμοποιηθούν, και μέσω του προγράμματος GRID (Grid 2000) προσδιορίζουμε τα σημεία λειτουργίας τους για καθαρή και ρυπασμένη γάστρα. Σημειώνουμε, πως μέσω του προγράμματος GRID (Grid 2000), μελετούμε μόνο την μια γάστρα καθώς το πρόγραμμα δεν καλύπτει δίγαστρα πλοία. Όπως γίνεται λοιπόν αντιληπτό, μελετώντας τη μια μόνο ημιγάστρα. θα θεωρήσουμε πως έχει τη μισή ακριβώς αντίσταση ρυμούλκησης από τη συνολική, όπως φαίνεται στον **Πίνακα 9.7,** παραπάνω. Προφανώς, η αντίσταση σύμφωνα με την οποία θα υπολογίσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά των ελικών αλλά και τα σημεία λειτουργίας τους, θα είναι αυτή που αντιστοιχεί στους 19 κόμβους όπου έχουμε επιλέξει ως υπηρεσιακή ταχύτητα.

Ακολουθεί ο υπολογισμός των βασικών χαρακτηρηστικών της έλικας, με την οποία θα είναι εξοπλισμένη κάθε ημιγάστρα.

Επιλογή Έλικας

Σύμφωνα με το Σχέδιο Γενικής Διάταξης και τις γραμμές του πλοίου, επιλέγουμε διάμετρο έλικας $D_{\varepsilon\lambda}$=2,20m. Για την επιλογή της βέλτιστης έλικας είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τα παρακάτω στοιχεία και συντελεστές:

- *Ποσοστό ομόρου w:*

Schneekluth: $$w_{Schneekluth} = 0,5 \cdot c_P \frac{1,6}{1+\frac{D_{\varepsilon\lambda}}{T}} \cdot \frac{16}{10+\frac{L}{B}} = 0,264 \qquad 9.9$$

Kruger: $$w_{Kruger} = 0,75 \cdot c_B - 0,24 = 0,191 \qquad 9.10$$

Heckscher: $$w_{Heckscher} = 0,7 \cdot c_P - 0,18 = 0,262 \qquad 9.11$$

Troost: $$w_{Troost} = 0,25 + 2,5\left(c_B - 0,6\right)^2 = 0,252 \qquad 9.12$$

Το τελικό ποσοστό ομόρου *w* προκύπτει από τον μέσο όρο των παραπάνω εκτιμήσεων. Συνεπώς, $w = 0,242$.

- *Συντελεστής μείωσης ώσης t:*

Heckscher: $t_{\text{Heckscher}} = 0,5 \cdot c_P - 0,18 = 0,196$ 9.13

Danckwardt: $t_{\text{Danckwardt}} = 0,52 \cdot c_B - 0,18 = 0,137$ 9.14

Holtrop - Mennen: $t_{Holtrop-Mennen} = 0,325 \cdot c_B - 0,1885 \cdot \frac{D_{\varepsilon\lambda}}{\sqrt{\mathrm{B} \cdot \mathrm{T}}} = 0,130$ 9.15

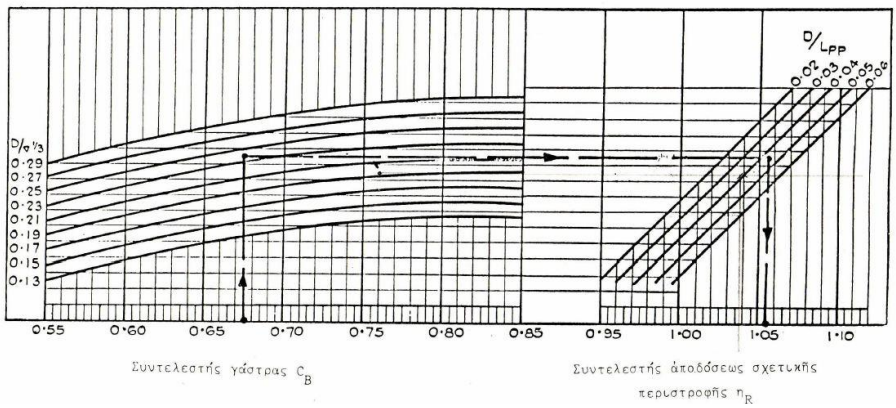
Ο τελικός συντελεστής μείωσης ώσης *t* προκύπτει από τον μέσο όρο των παραπάνω εκτιμήσεων. Συνεπώς, $t = 0,154$.

- *Βαθμός σχετικής περιστροφής η_R:*

BSRA:

$$c_B = 0.574$$
$$D_{\varepsilon\lambda} / L_{PP} = 0.030 \qquad 9.16$$
$$D_{\varepsilon\lambda} / \nabla^{1/3} = 0.200$$

Έχοντας τα παραπάνω ως δεδομένα, μέσω του **Σχήματος 9.3**, βρίσκουμε $\eta_R = 0,98$.



Σχήμα 9.3: Διάγραμμα Υπολογισμού η_R

Βαθμός απόδοσης γάστρας η_H:

$$\eta_H = \frac{1-t}{1-w} = 1,116 \qquad 9.17$$

Βαθμός απόδοσης άξονα η_S:

$$\eta_S = 0.98 \qquad 9.18$$

Ώση έλικας T:

$$T = \frac{R_t}{1-t} = 34716kp \qquad 9.19$$

Λόγος εκτεταμένης επιφάνειας A_E / A_O:

Για τον υπολογισμό της εκτεταμένης επιφάνειας πρέπει να υπολογίσουμε πρώτα τα παρακάτω δεδομένα:

h: η κατακόρυφη απόσταση του κέντρου του άξονα από την επιφάνεια της θάλασσας, $h = T_d - D_{\varepsilon\lambda}/2 + 0.02 = 2,746m$

p_o : η στατική πίεση στο κέντρο του άξονα, $p_o = p_{atm} + \rho \cdot g \cdot h = 13018,04\, kp/m^2$

p_{atm} : η πίεση ατμοποίησης του θαλασσινού νερού, $p_{atm} = 104.611\, kp \cdot s^2/m^4$

$k = 0.2$

Έτσι έχουμε:

$$\frac{A_E}{A_0} = \frac{(1.3 + 0.3 \cdot z) \cdot T}{(p_0 - p_V) \cdot D_{\varepsilon\lambda}^2} + k = 0,95 \rightarrow \frac{A_E}{A_0} = 1,00 \qquad 9.20$$

Λόγος βήματοςP/D:

Για την επιλογή του βέλτιστου λόγου βήματος *P/D,* βασιζόμαστε στην ταχύτητα σχεδίασης του υπό μελέτη πλοίου και στην χρήση του προγράμματος GRID (Grid 2000). Εκτελώντας το πρόγραμμα σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς, και χρησιμοποιώντας ως είσοδο του προγράμματος την αντίσταση που φαίνεται στον **Πίνακα 9.7** και η οποία αντιστοιχεί στην ταχύτητα των 19 κόμβων, έχουμε ως αποτέλεσμα την εξής αναφορά για τις ισοταχείς καμπύλες της έλικας του υπό μελέτη πλοίου:

```
Diam (m)=  2.200  AE/A0=  1.000  No of blades=  4
  Shaft efficiency=  0.980
  no Diam (m)=  2.200  AE/A0=  1.000  No of blades=  4
  Shaft efficiency=  0.980
  no of propellers=  1
  fluid density (kp*s^2/m^4)= 104.61
  Wagenigen B-series

   V (m/s)    R (kp)      w       t       nr       F (kp)
    9.774     15790.0    0.242   0.154   0.970        0.0

  ********  iso - P/D  ********
   P/D=    0.500  number of propellers=  1
   rpm    V (knots) T (kp)    Q (kp*m)   DHP (PS)  SHP (PS)   P.C.
  615.5   19.002   18671.0   6533.9   5615.5   5730.1    0.359
   P/D=    0.600  number of propellers=  1
   rpm    V (knots) T (kp)    Q (kp*m)   DHP (PS)  SHP (PS)   P.C.
  520.8   19.002   18671.0   6017.7   4376.1   4465.4    0.461
   P/D=    0.700  number of propellers=  1
   rpm    V (knots) T (kp)    Q (kp*m)   DHP (PS)  SHP (PS)   P.C.
  455.9   19.002   18671.0   6036.5   3842.8   3921.3    0.525
```

```
 P/D=    0.800  number of propellers=  1
 rpm    V (knots) T (kp)    Q (kp*m)   DHP (PS)  SHP (PS)   P.C.
408.6   19.002   18671.0    6300.6    3594.2    3667.5    0.561
 P/D=    0.900  number of propellers=  1
 rpm    V (knots) T (kp)    Q (kp*m)   DHP (PS)  SHP (PS)   P.C.
372.4   19.002   18671.0    6692.4    3479.7    3550.7    0.580
 P/D=    1.000  number of propellers=  1
 rpm    V (knots) T (kp)    Q (kp*m)   DHP (PS)  SHP (PS)   P.C.
343.8   19.002   18671.0    7158.1    3436.2    3506.3    0.583
 P/D=    1.100  number of propellers=  1
 rpm    V (knots) T (kp)    Q (kp*m)   DHP (PS)  SHP (PS)   P.C.
320.6   19.002   18671.0    7669.7    3432.9    3503.0    0.587
 P/D=    1.200  number of propellers=  1
 rpm    V (knots) T (kp)    Q (kp*m)   DHP (PS)  SHP (PS)   P.C.
301.2   19.002   18671.0    8209.5    3452.3    3522.7    0.584
 P/D=    1.300  number of propellers=  1
 rpm    V (knots) T (kp)    Q (kp*m)   DHP (PS)  SHP (PS)   P.C.
284.6   19.002   18671.0    8763.0    3482.0    3553.0    0.579
 P/D=    1.400  number of propellers=  1
 rpm    V (knots) T (kp)    Q (kp*m)   DHP (PS)  SHP (PS)   P.C.
270.0   19.002   18671.0    9315.1    3511.8    3583.4    0.574
```

Από τα παραπάνω αποτελέσματα βλέπουμε ότι ο μέγιστος βαθμός απόδοσης $P.C. = 0,587$ εμφανίζεται στην έλικα με λόγο βήματος $P/D = 1,1$ στις $320,6rpm$, με $T = 18671kp$, $Q = 7676,6kp \cdot m$, $DHP = 3437PS$ και $SHP = 3507,1PS = 2580kW$.

Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω, η έλικά μας επιλέγουμε να έχει: $\frac{P}{D} = 1,1$

Για να βρούμε επίσης, το σημείο λειτουργίας της έλικας για ρυπασμένη γάστρα και κυματισμούς, επανεκτελούμε το πρόγραμμα GRID (Grid 2000), έχοντας κάνει προσαύξηση 20% στην αντίσταση ρυμούλκησης που χρησιμοποιήσαμε κατά την προηγούμενη εκτέλεση του προγράμματος. Η αναφορά που παίρνουμε από το πρόγραμμα, φαίνεται παρακάτω:

```
Diam (m)=  2.200  AE/A0=  1.000  No of blades=  4
  Shaft efficiency=  0.980
  no of propellers=  1
  fluid density (kp*s^2/m^4)= 104.61
  Wagenigen B-series

   V (m/s)    R (kp)      w       t       nr       F (kp)
    9.774     18948.4    0.242   0.154   0.970      0.0

  ********  iso - P/D  ********
   P/D=    0.500  number of propellers=  1
   rpm    V (knots) T (kp)    Q (kp*m)   DHP (PS)  SHP (PS)   P.C.
  646.7   19.002   22405.7    7448.6    6725.6    6862.9    0.360
   P/D=    0.600  number of propellers=  1
   rpm    V (knots) T (kp)    Q (kp*m)   DHP (PS)  SHP (PS)   P.C.
  548.2   19.002   22405.7    6964.7    5331.1    5439.9    0.454
   P/D=    0.700  number of propellers=  1
```

```
 rpm    V (knots) T (kp)    Q (kp*m)   DHP (PS)  SHP (PS)   P.C.
480.6   19.002   22405.7    7058.1    4736.5    4833.1     0.511
 P/D=    0.800  number of propellers=  1
 rpm    V (knots) T (kp)    Q (kp*m)   DHP (PS)  SHP (PS)   P.C.
431.2   19.002   22405.7    7416.1    4465.1    4556.2     0.542
 P/D=    0.900  number of propellers=  1
 rpm    V (knots) T (kp)    Q (kp*m)   DHP (PS)  SHP (PS)   P.C.
393.5   19.002   22405.7    7911.7    4346.5    4435.2     0.557
 P/D=    1.000  number of propellers=  1
 rpm    V (knots) T (kp)    Q (kp*m)   DHP (PS)  SHP (PS)   P.C.
363.6   19.002   22405.7    8486.6    4308.8    4396.8     0.559
 P/D=    1.100  number of propellers=  1
 rpm    V (knots) T (kp)    Q (kp*m)   DHP (PS)  SHP (PS)   P.C.
339.4   19.002   22405.7    9110.6    4317.1    4405.2     0.562
 P/D=    1.200  number of propellers=  1
 rpm    V (knots) T (kp)    Q (kp*m)   DHP (PS)  SHP (PS)   P.C.
319.1   19.002   22405.7    9764.3    4350.9    4439.7     0.556
 P/D=    1.300  number of propellers=  1
 rpm    V (knots) T (kp)    Q (kp*m)   DHP (PS)  SHP (PS)   P.C.
301.8   19.002   22405.7   10431.4    4395.9    4485.7     0.551
 P/D=    1.400  number of propellers=  1
 rpm    V (knots) T (kp)    Q (kp*m)   DHP (PS)  SHP (PS)   P.C.
286.6   19.002   22405.7   11094.7    4439.8    4530.5     0.545
```

Από τα παραπάνω αποτελέσματα βλέπουμε ότι για λόγο βήματος $P/D = 1,1$ έχουμε: $P.C. = 0,562$, $n = 339,4rpm$, με $T = 22405,7kp$, $Q = 9110,6kp \cdot m$, $DHP = 4317,1PS$ και $SHP = 4405,2PS = 3240kW$.

Να σημειώσουμε, πως το πρόγραμμα GRID δεν λαμβάνει υπ' όψιν του το βαθμό απόδοσης του μειωτήρα. Έτσι, αν θεωρήσουμε πως ο μειωτήρας έχει βαθμό απόδοσης η_G=0,98, οι ισχύς στον άξονα για κάθε περίπτωση πλεύσης, θα πρέπει να διαιρεθούν με το βαθμό απόδοσης αυτό.

Τελικά, έχουμε τα δύο σημεία λειτουργίας της κάθε έλικάς μας, και αυτά φαίνονται παρακάτω:

	Στροφές Έλικας [RPM]	Ισχύς στον Άξονα (*BHP*) [kW]
Καθαρή Γάστρα	320,6	2633
Ρυπασμένη Γάστρα & Κακοκαιρία	339,4	3306

Επιλογή Κινητήρων

Για την επιλογή της κύριας μηχανής, θα λάβουμε υπ' όψιν μας τον ολικό βαθμό απόδοσης που προκύπτει στην δυσμενέστερη κατάσταση λειτουργίας του πλοίου, δηλαδή στην κατάσταση όπου οι γάστρες είναι ρυπασμένες, και υπάρχει κακοκαιρία.

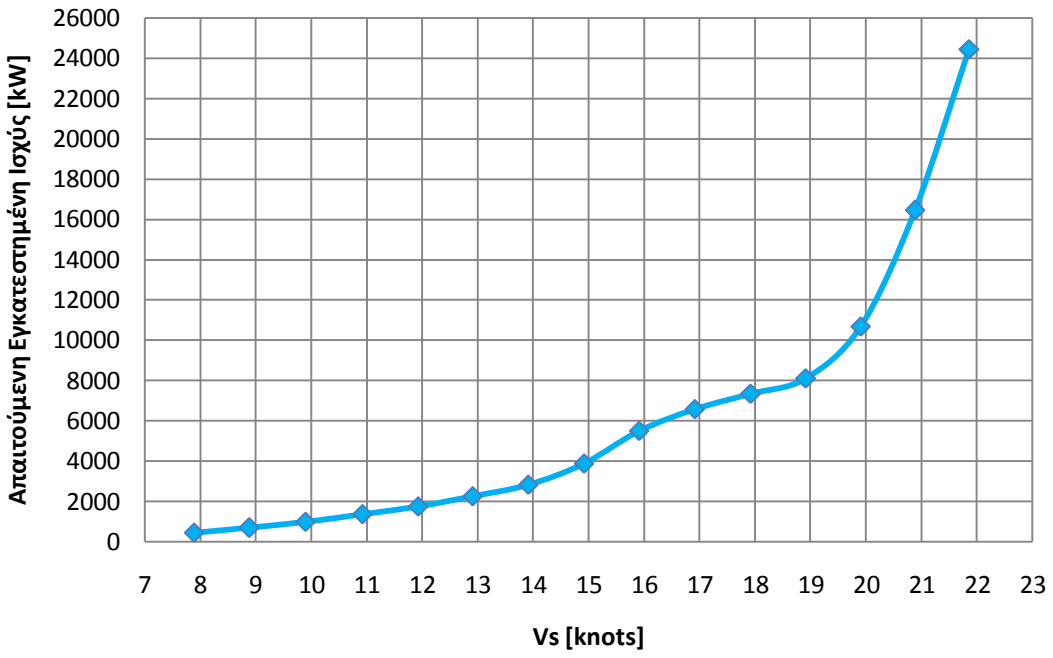
Όπως είπαμε και παραπάνω, θα πρέπει στο συνολικό βαθμό απόδοσης, να συμπεριλάβουμε αυτόν του μειωτήρα. Θεωρούμε πως ο μειωτήρας έχει βαθμό απόδοσης η_G=0,98, και άρα ο συνολικός βαθμός απόδοσης θα είναι: $\eta = 0,562 * 0,98 = 0,551$

Οπότε, σύμφωνα με τον προκύπτοντα βαθμό απόδοσης, και θεωρώντας πως οι κύριες μηχανές θα λειτουργούν στο 85% του *MCR* τους, παράγεται ο πίνακας με την τελική απαίτηση εγκατεστημένης ισχύος του πλοίου, που φαίνεται παρακάτω:

Πίνακας 9.8: Υπολογισμός Τελικής Απαιτούμενης Εγκατεστημένης Ισχύος

Ταχύτητα πλεύσης του πλοίου	Αντίσταση Καθαρής Γάστρας	Αντίσταση Ρυπασμένης Γάστρας	Ισχύς Ρυμούλκησης για Ρυπασμένη γάστρα	Προσαύξηση της 'EHP' λόγω του ολικού βαθμού απόδοσης της εγκατάστασης -SHP-	Προσαύσηση λόγω λειτουργίας της κύριας μηχανής στο 85% του MCR	Προσαύξηση 5% για περίσσεια ισχύος - Τελική Απαιτούμενη Εγκατεστημένη Ισχύς
V_S	***R_T***	***R_T (+20%)***	***EHP***	***-***	***" /0,85 "***	***"*1,05"***
knots	***kN***	***kN***	***kW***	***kW***	***kW***	***kW***
8	40651,3	48781,5	198,1	359,4	422,9	444,0
9	56208,9	67450,7	308,3	559,6	658,3	691,3
10	71702,1	86042,5	438,1	795,2	935,5	982,3
11	90119,8	108143,7	607,5	1102,6	1297,2	1362,0
12	107054,3	128465,2	788,0	1430,1	1682,5	1766,6
13	127212,3	152654,8	1013,7	1839,7	2164,3	2272,5
14	147328,4	176794,1	1265,2	2296,2	2701,4	2836,4
15	188623,9	226348,6	1736,6	3151,7	3707,9	3893,3
16	249716,6	299659,9	2452,2	4450,5	5235,9	5497,7
17	280991,9	337190,3	2933,4	5323,7	6263,2	6576,4
18	296377,9	355653,5	3279,2	5951,4	7001,7	7351,8
19	309715,0	371658,0	3616,8	6564,0	7722,4	8108,5
20	387754,1	465304,9	4763,7	8645,5	10171,2	10679,8
21	568974,7	682769,7	7335,7	13313,5	15662,9	16446,1
22	807587,0	969104,4	10898,1	19778,7	23269,1	24432,5

Παρακάτω φαίνεται η διαγραμματική αναπαράσταση της τελικής απαιτούμενης εγκατεστημένης ισχύος του πλοίου, συναρτήσει της ταχύτητας πλεύσης:



Σχήμα 9.4: Διάγραμμα Απαιτούμενης Εγκατεστημένης Ισχύος – Ταχύτητας Πλεύσης

Για την ταχύτητα των 19 κόμβων όπως βλέπουμε, έχουμε ως απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύ 8108,5 kW. Υπενθυμίζουμε, πως η ισχύς αυτή αφορά και τις δύο ημιγάστρες. Άρα για κάθε ημιγάστρα, χρειαζόμαστε: 8108,5/2 = 4054,25 kW.

Ως κατασκευαστής των κυρίων μηχανών, επιλέγεται η εταιρία 'Wartsila', και επιλέγουμε τη μεσόστροφη μηχανή: 12V26 (IMO TIER II) με *MCR* = 4080kW στις 1000RPM. Τα κύρια χαρακτηριστικά της μηχανής αυτής φαίνονται στο Παράρτημα 'Ε'.

Διάγραμμα Φόρτισης Κύριας Μηχανής

Το Διάγραμμα Φόρτισης (Load Diagram) θα κατασκευαστεί σύμφωνα με τα σημεία λειτουργίας της έλικας που προέκυψαν από τα αποτελέσματα του προγράμματος Grid (Grid 2000). Έτσι, για ρυπασμένη γάστρα και κυματισμούς έχουμε το παρακάτω σημείο λειτουργίας της έλικας:

$$BHP = 3306 \text{ kW} \qquad n_{prop} = 339{,}4\text{RPM}$$

Από το σημείο λειτουργίας αυτό, και σύμφωνα με τον κατασκευαστή της κύριας μηχανής προκύπτει η χαρακτηριστική της έλικας για ρυπασμένη γάστρα και κυματισμούς:

$$P = 8,456 * 10^{-5} * n^3 \qquad 9.21$$

Αντίστοιχα, προκύπτει και η χαρακτηριστική της έλικας για καθαρή γάστρα:

$$P = 7,987 * 10^{-5} * n^3 \qquad 9.22$$

Επιλογή Μειωτήρα

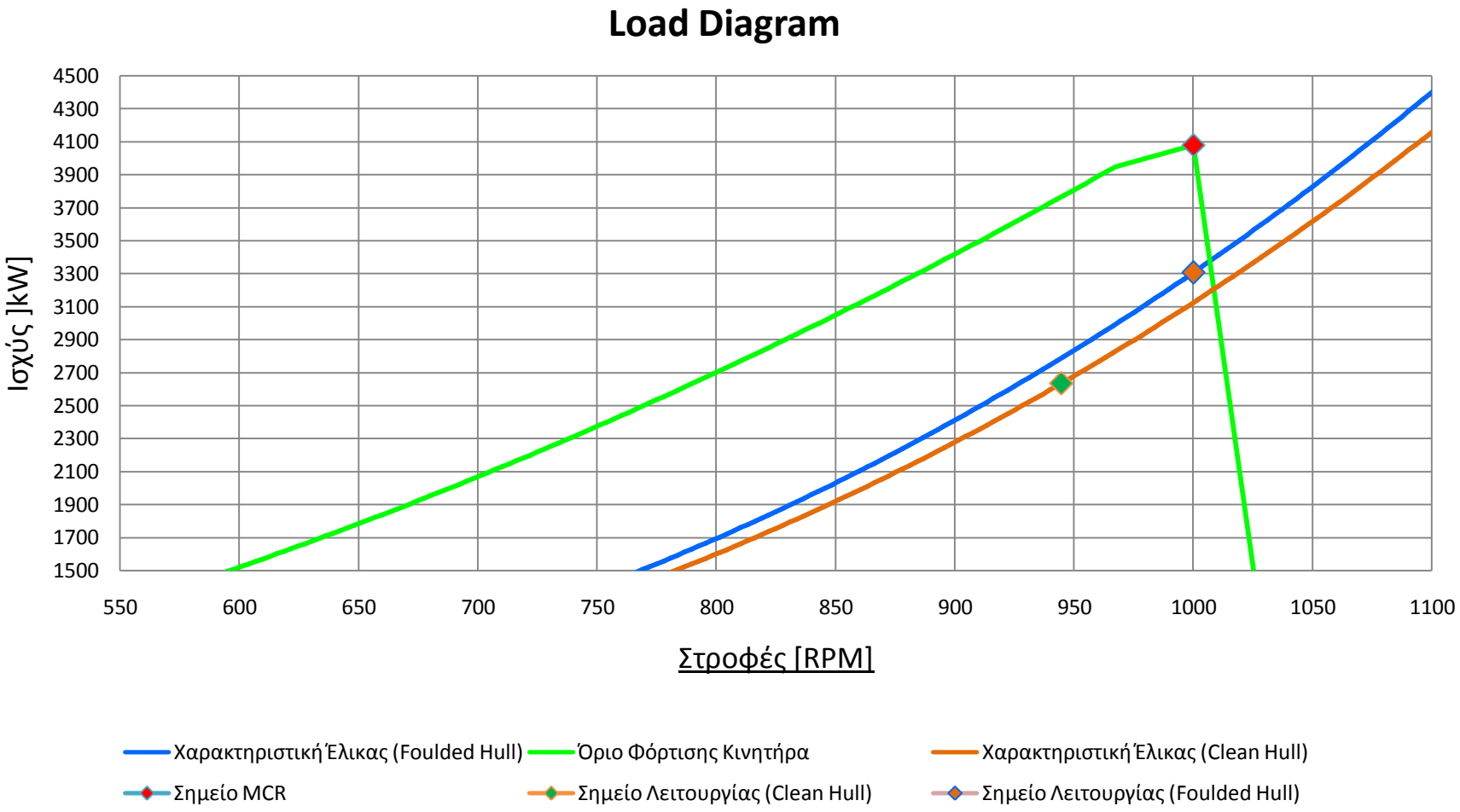
Στο σημείο αυτό, μπορούμε να υπολογίσουμε το λόγο μείωσης που θα πρέπει να έχει ο μειωτήρας. Θα τον υπολογίσουμε, σύμφωνα με τις στροφές της έλικας στην ρυπασμένη κατάσταση.

Έτσι θα έχουμε:

$$\lambda = \frac{1000}{339,4} = 2,95 \qquad 9.23$$

Επιλέγουμε ως μειωτήρα τον SV75 της Wärtsilä (Wärtsilä 2013b), όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο οποίος αντέχει φορτίο έως και 5,2 MW και θα κατασκευαστεί ώστε να προσφέρει τον επιθυμητό λόγο μείωσης.

Πλέον, μπορεί να κατασκευαστεί το Διάγραμμα Φόρτισής του. Σημειώνουμε, πως μέσω του λόγου μείωσης, οι χαρακτηριστικές καμπύλες της έλικας, έχουν προσαρμοστεί το διάγραμμα φόρτισης του κινητήρα. Το διάγραμμα αυτό παρουσιάζεται στο παρακάτω:

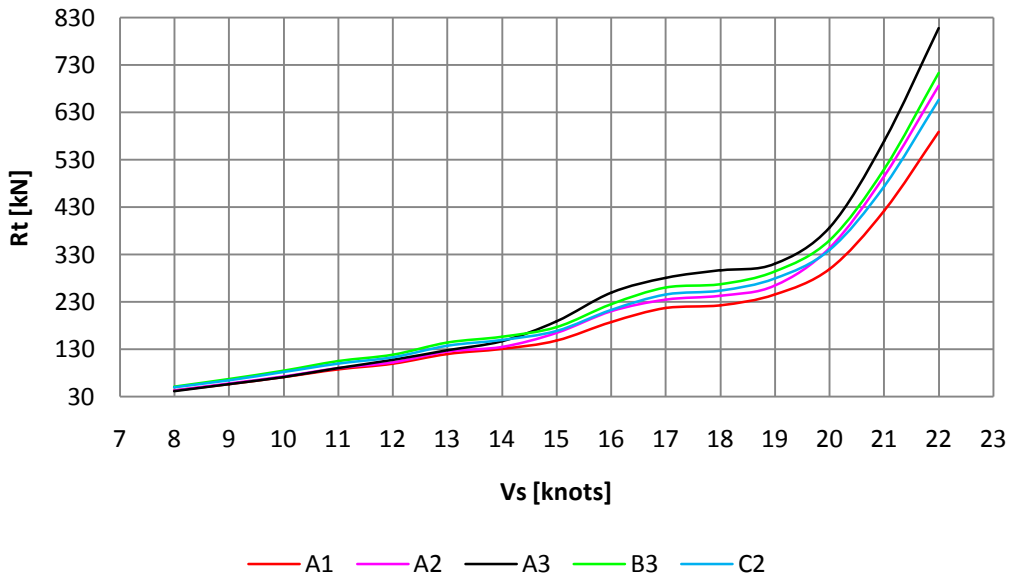


Σχήμα 9.5: Διάγραμμα Φόρτισης Κύριας Μηχανής

Τέλος, θα παραθέσουμε συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό της αντίστασης που εμφανίζει το πλοίο, για τις διάφορες καταστάσεις που μελετήθηκαν πειραματικά με το πρότυπο δοκιμών. Ο υπολογισμός της αντίστασης και η εκτίμηση της τελικής απαιτούμενης ισχύς πρόωσης για κάθε κατάσταση φόρτωσης του προτύπου (για ρυπασμένη και καθαρή γάστρα) εκτός της A_3 φαίνεται στο Παράρτημα 'Ζ' όπως είπαμε και παραπάνω. Εδώ θα παραθέσουμε μόνο τα αποτελέσματα. Έτσι έχουμε:

Πίνακας 9.9: Αντίσταση Ρυμούλκησης – Καθαρή Γάστρα

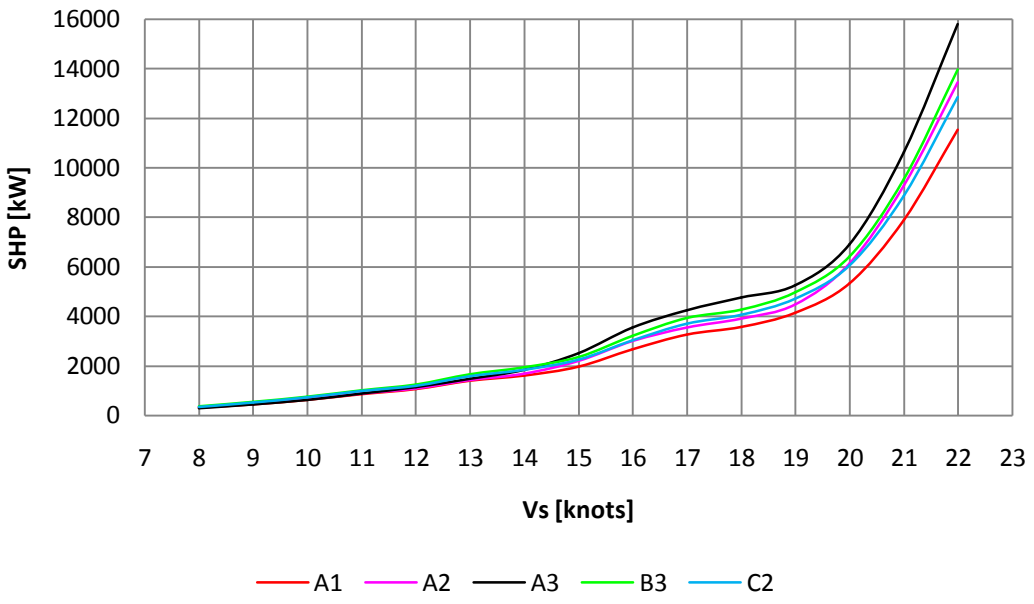
Vs	R_T [kN]				
knots	A_1	A_2	A_3	B_3	C_2
8	43,2	42,9	40,7	51,4	49,7
9	56,6	57,7	56,2	67,5	64,9
10	71,1	72,8	71,7	84,8	81,2
11	87,4	90,5	90,1	104,4	99,7
12	98,9	102,7	107,1	118,1	113,1
13	120,1	124,4	127,2	143,6	137,0
14	130,4	135,1	147,3	155,7	149,0
15	147,4	164,0	188,6	175,9	168,4
16	187,7	209,9	249,7	225,0	213,3
17	216,4	234,9	281,0	259,6	245,5
18	223,0	243,1	296,4	267,0	253,8
19	245,1	263,6	309,7	293,4	279,0
20	299,8	343,9	387,8	359,8	339,5
21	422,5	495,9	569,0	509,8	474,0
22	588,7	686,4	807,6	713,2	655,7



Σχήμα 9.6: Καμπύλες αντίστασης καθαρής γάστρας συναρτήσει της ταχύτητας για όλες τις καταστάσεις πλεύσης

Πίνακας 9.10: Απαιτούμενη Ισχύς στον Άξονα – Καθαρή Γάστρα

Vs	SHP [kW]				
knots	A_1	A_2	A_3	B_3	C_2
8	304,6	303,8	286,9	362,4	350,3
9	451,0	459,4	446,7	537,5	516,9
10	626,5	643,7	634,7	747,9	716,3
11	851,7	888,6	880,1	1017,6	972,3
12	1051,5	1094,2	1141,5	1255,4	1202,0
13	1387,8	1436,5	1468,4	1659,2	1582,7
14	1617,5	1682,1	1832,8	1931,5	1848,6
15	1964,1	2188,0	2515,7	2345,1	2245,0
16	2669,3	2988,1	3552,4	3198,2	3032,6
17	3271,5	3554,1	4249,3	3923,2	3711,2
18	3573,1	3898,7	4750,4	4277,1	4066,5
19	4146,9	4463,7	5239,4	4963,8	4719,9
20	5337,5	6129,6	6900,8	6406,7	6045,5
21	7897,8	9279,5	10626,7	9530,4	8861,0
22	11527,5	13458,9	15787,2	13966,1	12840,7



Σχήμα 9.7: Απαιτούμενη ισχύς στον άξονα για καθαρή γάστρα συναρτήσει της ταχύτητας για όλες τις καταστάσεις πλεύσης

Από το παραπάνω διάγραμμα, μπορούμε να βρούμε τις μέγιστες ταχύτητες πλεύσης για κάθε κατάσταση φόρτωσης, έχοντας ως δεδομένο πως η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στο πλοίο μας είναι 8160kW. Έτσι βλέπουμε πως για καθαρή γάστρα, το πλοίο ανάλογα με την κατάσταση πλεύσης, μπορεί να φτάσει τις ταχύτητες που φαίνονται στον **Πίνακα 9.11** παρακάτω:

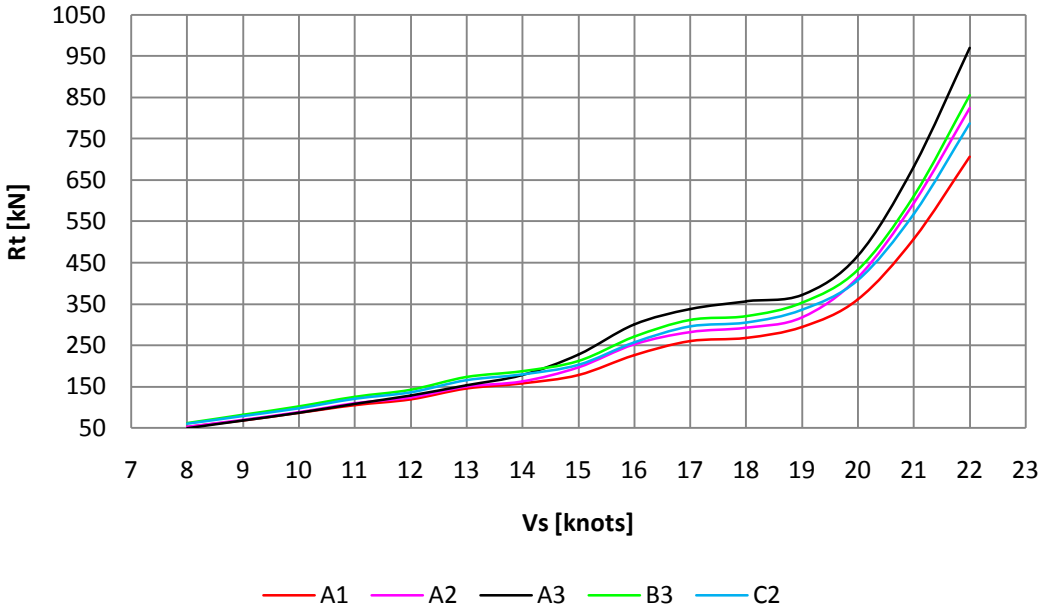
Πίνακας 9.11: Μέγιστη Ταχύτητα πλεύσης – Καθαρή Γάστρα

Κατάσταση φόρτωσης	V_{MAX} [knots]
A_1	21,3
A_2	20,8
A_3	20,3
B_3	20,7
C_2	20,9

Όσον αφορά στις πραγματικές καταστάσεις φόρτωσης του υπό μελέτη πλοίου και πώς αυτές προσομοιάζονται από τις A_1, A_2, A_3, B_1 και C_2 του προτύπου δοκιμών, έχουμε αρχικά πως η 'Full Load Departure' αντιστοιχεί στην κατάσταση A_3 του προτύπου. Επομένως όντας το πλοίο μας στην κατάσταση *'FLD'*, με τη μέγιστη ισχύ του, θα μπορεί να φτάσει τους 20,3 κόμβους. Η κατάσταση B_3 του προτύπου αντιστοιχεί στην 'Full Load Arrival' του υπό μελέτη πλοίου, καθώς εμφανίζει έμπρυμνη διαγωγή και αντίστοιχο βύθισμα. Έτσι, σε αυτήν την κατάσταση, το πλοίο μπορεί να φτάσει τους 20,7 κόμβους. Επίσης η κατάσταση A_2, αντιστοιχεί στην κατάσταση φόρτωσης του πλοίου κατά τη χειμερινή περίοδο, και στην κατάσταση που έχουμε '70% επιβάτες και 50% αυτοκίνητα'. Στις δύο αυτές καταστάσεις, το πλοίο πλέει κοντά στο βύθισμα σχεδίασής του, και άρα μπορεί να φτάσει τους 20,8 κόμβους.

Πίνακας 9.12: Αντίσταση Ρυμούλκησης – Ρυπασμένη Γάστρα

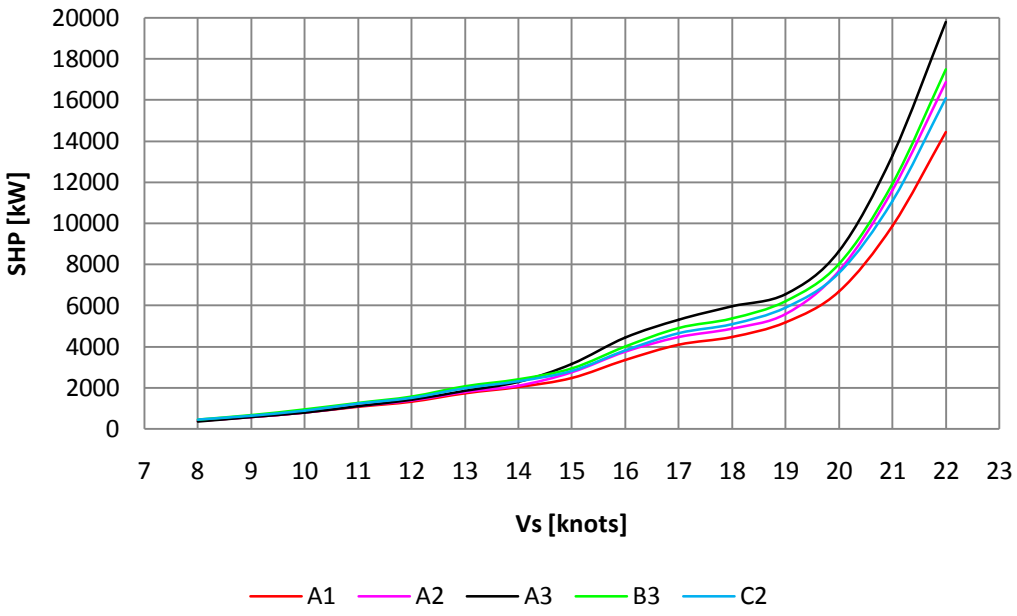
Vs	R_T [kN]				
knots	A_1	A_2	A_3	B_3	C_2
8	51,9	51,5	48,8	61,7	59,6
9	68,0	69,3	67,5	81,0	77,9
10	85,3	87,3	86,0	101,8	97,5
11	104,8	108,6	108,1	125,3	119,7
12	118,7	123,2	128,5	141,7	135,7
13	144,2	149,3	152,7	172,4	164,4
14	156,5	162,2	176,8	186,8	178,8
15	176,8	196,7	226,3	211,1	202,1
16	225,3	251,9	299,7	269,9	256,0
17	259,7	281,9	337,2	311,5	294,7
18	267,7	291,7	355,7	320,4	304,6
19	294,2	316,3	371,7	352,1	334,8
20	359,7	412,7	465,3	431,8	407,4
21	507,0	595,1	682,8	611,8	568,8
22	706,4	823,7	969,1	855,8	786,9



Σχήμα 9.8: Καμπύλες αντίστασης ρυπασμένης γάστρας συναρτήσει της ταχύτητας για όλες τις καταστάσεις πλεύσης

Πίνακας 9.13: Απαιτούμενη Ισχύς στον Άξονα – Ρυπασμένη Γάστρα

Vs	SHP [kW]				
knots	A_1	A_2	A_3	B_3	C_2
8	381,7	380,7	359,4	454,1	438,8
9	565,0	575,5	559,6	673,4	647,6
10	784,9	806,5	795,2	937,0	897,4
11	1067,1	1113,2	1102,6	1274,9	1218,1
12	1317,4	1370,8	1430,1	1572,8	1505,9
13	1738,7	1799,7	1839,7	2078,7	1982,8
14	2026,5	2107,4	2296,2	2419,8	2316,0
15	2460,6	2741,3	3151,7	2938,0	2812,7
16	3344,1	3743,5	4450,5	4006,9	3799,3
17	4098,6	4452,7	5323,7	4915,1	4649,5
18	4476,5	4884,4	5951,4	5358,5	5094,6
19	5195,4	5592,2	6564,0	6218,9	5913,2
20	6687,0	7679,4	8645,5	8026,5	7574,0
21	9894,6	11625,7	13313,5	11940,0	11101,4
22	14442,1	16861,7	19778,7	17497,2	16087,3



Σχήμα 9.9: Απαιτούμενη ισχύς στον άξονα για ρυπασμένη γάστρα συναρτήσει της ταχύτητας για όλες τις καταστάσεις πλεύσης

Από το παραπάνω διάγραμμα, μπορούμε επίσης όπως και παραπάνω, να βρούμε τις μέγιστες ταχύτητες πλεύσης για κάθε κατάσταση φόρτωσης, έχοντας ως δεδομένο πως η εγκατεστημένη ισχύς στο πλοίο μας είναι 8160kW. Έτσι βλέπουμε πως για ρυπασμένη γάστρα, το πλοίο μπορεί αν φτάσει τις εξής ταχύτητες ανάλογα την κατάσταση πλεύσης:

Πίνακας 9.14: Μέγιστη Ταχύτητα πλεύσης – Ρυπασμένη Γάστρα

Κατάσταση φόρτωσης	V_{MAX} [knots]
A_1	20,6
A_2	20,2
A_3	19,8
B_3	20,0
C_2	20,3

Όσον αφορά στις πραγματικές καταστάσεις φόρτωσης του υπό μελέτη πλοίου, ισχύουν αυτά που είπαμε παραπάνω. Έτσι, η 'Full Load Departure' αντιστοιχεί στην κατάσταση A_3 του προτύπου. Επομένως, όντας το πλοίο μας στην κατάσταση *FLD,* με τη μέγιστη ισχύ του, θα μπορεί να φτάσει τους 19,8 κόμβους. Η κατάσταση B_3 του προτύπου αντιστοιχεί στην 'Full Load Arrival' του υπό μελέτη πλοίου, καθώς εμφανίζει έμπρυμνη διαγωγή. Έτσι, σε αυτήν την κατάσταση, το πλοίο μπορεί να φτάσει τους 20 κόμβους. Επίσης, η κατάσταση A_2 αντιστοιχεί στην κατάσταση φόρτωσης του πλοίου κατά τη χειμερινή περίοδο, και στην κατάσταση που έχουμε '70% επιβάτες και 50% αυτοκίνητα'. Στις δύο αυτές καταστάσεις, το πλοίο πλέει κοντά στο βύθισμα σχεδίασής του, και άρα μπορεί να φτάσει τους 20,2 κόμβους.

10. ΣΥΓΚΡΙΣΗ

Μεταφορική Ικανότητα

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει μια συνολική παρουσίαση των χώρων του υπό μελέτη πλοίου. Για τα καταστρώματα οχημάτων θα δοθεί το εμβαδόν τους, ο αριθμός των αυτοκινήτων και το μήκος των λωρίδων. Για τα καταστρώματα επιβατών θα δοθεί το εμβαδόν τους, καθώς και ο αριθμός των επιβατών που δύναται να φιλοξενηθεί σε κάθε ένα. Ταυτόχρονα, γίνεται σύγκριση με τα αντίστοιχα μεγέθη του πλοίου 'Blue Star Ithaki', όπως αυτά καταγράφηκαν από το αντίστοιχο Σχέδιο Γενικής Διάταξης και τα διαθέσιμα στοιχεία της εταιρείας 'Blue Star Ferries'. Τέλος, γίνεται μια ανάλυση για τα αντίστοιχα βάρη που προκύπτουν. Για τους επιβάτες έχουμε ανά κατάστρωμα:

Πίνακας 10.1: Εμβαδόν Καταστρωμάτων Επιβατών

	Υπό μελέτη πλοίο (m^2)	**Blue Star Ithaki (m^2)**
1st Passenger Deck	1800	1897
2nd Passenger Deck	1742	1727
Σύνολο	3542	3624

*Τα εμβαδά αναφέρονται στους συνολικούς χώρους, μαζί με τις καμπίνες και τους χώρους εργασίας του πληρώματος.

Πίνακας 10.2: Επιβάτες Καταστρωμάτων

	Υπό μελέτη πλοίο	**Blue Star Ithaki**
1st Passenger Deck indoor	771	831
1st Passenger Deck outdoor	156	80
2nd Passenger Deck cabins*	28	34
2nd Passenger Deck outdoor	344	208
Σύνολο	**1299**	**1153**

*Στον αριθμό επιβατών στις καμπίνες έχουν υπολογιστεί και τα Α.Μ.Ε.Α.

Πίνακας 10.3: Επιβάτες Θέρους-Χειμώνα

	Υπό μελέτη πλοίο	**Blue Star Ithaki**
Total Seats	1299	1153
Summer Passengers	1175	1087
Winter Passengers	799(68%)	865(80%)

Ο συνολικός αριθμός θέσεων, έχει προκύψει βάσει του **Πίνακα 10.2**. Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία (Π.Δ.44/ 2011), τη θερινή περίοδο πρέπει να διατίθενται καθίσματα κλειστών χώρων για τους επιβάτες ανοιχτών χώρων σε περίπτωση κακοκαιρίας. Τα καθίσματα αυτά πρέπει να εξυπηρετούν τουλάχιστον το 30% της διαφοράς του αριθμού επιβατών θέρους-χειμώνα. Έτσι, για τον υπολογισμό των επιβατών θέρους έχει αφαιρεθεί ένας αριθμός από τις συνολικές θέσεις κλειστών χώρων, έτσι ώστε να ικανοποιείται ο παραπάνω κανονισμός. Στους επιβάτες χειμώνα εμφανίζεται σε παρένθεση το ποσοστό τους ως προς τους επιβάτες θέρους.

Παρατηρούμε πως στο υπό μελέτη πλοίο, ο αριθμός των επιβατών που δύναται να μεταφερθούν είναι μεγαλύτερος σε σχέση με το πλοίο 'Blue Star Ithaki', αν και τα δύο πλοία έχουν παρόμοιο εμβαδόν καταστρωμάτων. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, πως έχει γίνει μια επιτυχής χωροταξική μελέτη και διαρρύθμιση στο υπό μελέτη πλοίο.

Επίσης, βλέπουμε πως το υπό μελέτη πλοίο δύναται να μεταφέρει λιγότερους επιβάτες τη χειμερινή περίοδο απ' ότι το 'Blue Star Ithaki'. Αυτό οφείλεται στο ότι έχει επιλεγεί να υπάρχει μεγάλος ανοιχτός χώρος και στα δύο καταστρώματα ενδιαίτησης επιβατών. Το γεγονός αυτό λοιπόν δεν κρίνεται αρνητικό, καθώς ο αριθμός των επιβατών χειμερινής είναι παραπλήσιος.

Όσον αφορά το πλήρωμα του υπό μελέτη πλοίου, έχουμε υπολογίσει σε προηγούμενο κεφάλαιο 41 άτομα. Το πλοίο 'Blue Star Ithaki' έχει πλήρωμα 40 ατόμων. Το πλήρωμα διατηρήθηκε σχεδόν ίδιο καθώς τα δύο πλοία έχουν παρόμοια μεταφορική ικανότητα σε επιβάτες και θέλαμε να διατηρήσουμε και ίδιο το επίπεδο ενδιαίτησης.

Ακολουθεί η ανάλυση για τη μεταφορική ικανότητα του υπό μελέτη πλοίου σε οχήματα.

Πίνακας 10.4: Αριθμός Οχημάτων ανά Κατάστρωμα

	Υπό μελέτη πλοίο	**Blue Star Ithaki**
1st Car Deck truck lanes (m)	344	360
1st Car Deck cars*	98	105
2nd Car Deck cars	87	94

*Η μέτρηση αυτή, αφορά την περίπτωση που φορτώνεται το First Car Deck μόνο με Ι.Χ. επιβατηγά και παρουσιάζεται μόνο στα πλαίσια της σύγκρισης.

Γενικά, βλέπουμε πως στο υπό μελέτη πλοίο ο αριθμός των οχημάτων που μπορούν να μεταφερθούν δεν διαφέρει σημαντικά από αυτόν του 'Blue Star Ithaki'. Όποιες μικρές αποκλίσεις προς τα κάτω, οφείλονται στη διάταξη των καταστρωμάτων οχημάτων, καθώς και στην ύπαρξη δύο πλαϊνών engine casings και όχι ενός κεντρικού όπως στο 'Blue Star Ithaki'.

Βάρος Κενού Σκάφους

Πίνακας 10.5: Βάρος Κενού Σκάφους

	Υπό μελέτη πλοίο (t)	Blue Star Ithaki (t)
Lightship	1863,5	4004

Παρατηρούμε μια αρκετά μεγάλη διαφορά στο Βάρος κενού Σκάφους (Lightship). Αυτή η διαφορά οφείλεται κυρίως στον τύπο του πλοίου. Όπως είχαμε αναφέρει και στην εισαγωγή, αναμέναμε αρκετή μείωση του βάρους της μεταλλικής κατασκευής. Σε μια δεύτερη αναλυτική προσέγγιση και μελέτη της αντοχής του υπό μελέτη πλοίου, ίσως να αυξανόταν το βάρος της μεταλλικής κατασκευής, όχι όμως δραστικά, καθώς και στην παρούσα μελέτη έχουν γίνει αρκετές προσαυξήσεις στα επί μέρους βάρη που συνθέτουν τη μεταλλική κατασκευή. Για τα βάρη του εξοπλισμού και της μηχανολογικής εγκατάστασης, ίσως και εκεί θα έπρεπε να περιμένουμε μια κάποια αύξηση γιατί κάποια επιμέρους μηχανήματα ή εξαρτήματα δεν έχουν μελετηθεί αναλυτικά, αλλά έχει υπολογιστεί το βάρος τους από εμπειρικούς τύπους. Επίσης, έχουμε αρκετά μικρότερες κύριες μηχανές, οι οποίες αποτελούν ένα σημαντικό μέρος του βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης. Τέλος, όσον αφορά το βάρος ενδιαιτήσεως, εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από το επίπεδο ενδιαίτησης. Τελικά όμως, οι αυξήσεις που τυχόν γίνουν σε περαιτέρω μελέτη δεν προβλέπεται να είναι ικανές να αυξήσουν δραστικά το βάρος του Lightship, και έτσι το υπό μελέτη πλοίο θα παραμείνει ελαφρύτερο από το 'Blue Star Ithaki'. Προφανώς λοιπόν, το κόστος κτίσης του πλοίου θα είναι αρκετά μικρότερο από του αντίστοιχου μονόγαστρου, γεγονός που είναι σύμφωνα με το συμφέρον του πλοιοκτήτη.

Ταχύτητα Υπηρεσίας

Πίνακας 10.6: Ταχύτητα Υπηρεσίας

	Υπό μελέτη πλοίο	Blue Star Ithaki
V_S [kn]	19	24,1

Στην ταχύτητα υπηρεσίας του πλοίου, βλέπουμε πως υπάρχει μια μείωση που όμως οφείλεται σε σχεδιαστική επιλογή, καθώς θέλαμε να μειώσουμε όσο το δυνατόν τα κόστη των καυσίμων (λόγω της μειωμένης αντίστασης και της μικρότερης απαιτούμενης ισχύος πρόωσης), των οποίων οι τιμές έχουν ανοδικές τάσεις τις τελευταίες δεκαετίες και αναμένεται να συνεχίσουν αυτή την πορεία. Παράλληλα όμως, η ταχύτητα των 19 κόμβων είναι αρκετή ώστε να προσελκύσει τον επιβάτη να ταξιδέψει με το πλοίο. Τελικά λοιπόν, δεν θεωρούμε την επιλογή χαμηλότερης ταχύτητας μειονέκτημα, καθώς μας προσφέρει μια οικονομικότερη λειτουργία του πλοίου.

Εγκατεστημένη Ισχύς Πρόωσης

Πίνακας 10.7: Εγκατεστημένη Ισχύς Πρόωσης

	Υπό μελέτη πλοίο	Blue Star Ithaki
P [kW]	8160	16555

Έχοντας επιλέξει σαφώς μικρότερη ταχύτητα από του 'Blue Star Ithaki', η αντίσταση που παρουσίασε το υπό μελέτη πλοίο είναι αρκετά μειωμένη. Έτσι ελαχιστοποιείται η συνολική απαίτηση ισχύος για πρόωση, γεγονός που συμφέρει και το πλοιοκτήτη ο οποίος δύναται να μειώσει τα έξοδα λειτουργίας του, αλλά και τον επιβάτη, ο οποίος θα μπορέσει αν ταξιδέψει πληρώνοντας ένα οικονομικό εισιτήριο σε σχέση με του αντίστοιχου μονόγαστρου πλοίου.

Ολική Χωρητικότητα

Πίνακας 10.8: Χωρητικότητα

	Υπό μελέτη πλοίο	Blue Star Ithaki
Gross (international)	8872	10193

Η ολική χωρητικότητα των δύο πλοίων είναι αρκετά κοντά. Παρουσιάζεται, όμως, μια μικρή μείωση στο υπό μελέτη πλοίο, το οποίο είναι θετικό από άποψη φορολογίας και δασμών στα λιμάνια.

Γενική Σύγκριση

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται συγκεντρωτικά τα διάφορα χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου και του 'Blue Star Ithaki.

Πίνακας 10.9: Main Particulars

NAME OF VESSEL	ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ	BLUE STAR ITHAKI
TYPE OF VESSEL	RO-RO PASSENGER	RO-RO PASSENGER
LENGTH OVER ALL (m)	84,43	123,8
LENGTH P.P. (m)	74,1	111,8
MAX BREADTH (m)	26	18,9
DEPTH (MAIN DECK) (m)	8,125	7,25
MAX SUMMER DRAUGHT (m)	4,5	5,1
GROSS TONNAGE (INTERNATIONAL)	8872	10193
TOTAL BREAK HORSE POWER (kW)	8160	16555
LIGHT SHIP (t)	1863	4004
DISPLACEMENT (t)	2779	6382
DWT (t)	915	1978
LANE METERS CAPACITY (m) (TRAILERS)	344	360
CARS CAPACITY	98	105
NUMBER OF PASSENGERS (SUMMER)	1175	1087
NUMBER OF PASSENGERS (WINTER)	799	865
PASSENGER BERTH	28	34
SERVICE SPEED (Knots)	19	24,1

11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κάνοντας μια γενική ανασκόπηση στην όλη πορεία της παρούσας διπλωματικής εργασίας, γίνεται εμφανές πως η ιδέα της μελέτης, σχεδίασης και κατασκευής ενός πλοίου τύπου Catamaran που θα κινείται όμως σε ταχύτητες αντίστοιχες των συμβατικών μονόγαστρων πλοίων, είναι ένα θέμα που ίσως απασχολήσει την ακτοπλοΐα στο μέλλον, καθώς φαίνεται πολλά υποσχόμενο.

Ανατρέχοντας στη σύγκριση του υπό μελέτη πλοίου με το 'Blue Star Ithaki' που είναι ένα πλοίο παρεμφερούς μεταφορικής ικανότητας, εξάγουμε το δεδομένο πως το δίγαστρο πλοίο προσφέρει μια πολύ πιο φτηνή λύση όσον αφορά στο κόστος κατασκευής, αλλά και λειτουργίας. Παράγοντες που επηρεάζουν τα μειωμένα αυτά κόστη είναι κυρίως το βάρος της μεταλλικής κατασκευής και η απαιτούμενη ισχύς πρόωσης (σε συνδυασμό με μια σημαντική μείωση της ταχύτητας). Γεγονός είναι πως στο δίγαστρο πλοίο μπορούμε να έχουμε ένα εμβαδόν καταστρώματος παρόμοιο με του μονόγαστρου πλοίου, περιορίζοντας ταυτόχρονα πολύ το βάρος της μεταλλικής κατασκευής και κατ' επέκταση του εκτοπίσματος. Σε συνδυασμό με τη μεγάλη ευστάθεια, την οποία έχουν τα δίγαστρα πλοία λόγω της μορφής τους, μπορούμε να έχουμε ένα πολύ ικανοποιητικό αποτέλεσμα όσον αφορά στη μεταφορική ικανότητα του πλοίου, καταφέρνοντας να ελαχιστοποιήσουμε το βάρος του Lightship και έτσι να μειώσουμε δραστικά το κόστος κτίσης του πλοίου. Αυτό σίγουρα θα ενδιέφερε τον εκάστοτε πλοιοκτήτη που θα σκεφτόταν να κάνει μια τέτοια επένδυση.

Επίσης, ένας άλλος μεγάλος παράγοντας που επηρεάζει το κόστος είναι η απαιτούμενη ισχύς πρόωσης και κατ' επέκταση η εγκατεστημένη κύρια μηχανή. Για την επιλεχθείσα ταχύτητα υπηρεσίας, η απαίτηση σε ισχύ πρόωσης του υπό μελέτη πλοίου έχει μειωθεί αρκετά, λόγω της μειωμένης αντίστασης που παρουσιάζει. Παράλληλα, η ταχύτητα των 19 κόμβων που επιλέξαμε ως υπηρεσιακή ταχύτητα του πλοίου, είναι αρκετά ικανοποιητική και κρίνεται πως δεν υπάρχει λόγος να κινηθούμε σε υψηλότερες ταχύτητες. Η επιλογή, προσφέρει στον πλοιοκτήτη αφενός ένα χαμηλό κόστος λειτουργίας του πλοίου (λόγω της τιμής του πετρελαίου) και αφετέρου χαμηλό κόστος κτίσης λόγω της φθηνότερης μηχανολογικής εγκατάστασης. Ακόμη, το χαμηλό κόστος λειτουργίας μεταφράζεται και σε χαμηλά ναύλα για τον επιβάτη. Έτσι, το πλοίο γίνεται πιο ελκυστικό στον επιβάτη έναντι ενός αντίστοιχου μονόγαστρου πλοίου, καθώς θα έχει την ίδια εξυπηρέτηση, με αρκετά μειωμένο κόστος εισιτηρίου.

12. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία επιδέχεται των ακόλουθων περαιτέρω αναπτύξεων.

- Περαιτέρω βελτιστοποίηση του Σχεδίου Γενικής Διάταξης, έτσι ώστε να αυξηθεί ο αριθμός των επιβατών και των οχημάτων που δύναται να μεταφέρει το υπό μελέτη πλοίο.
- Μελέτη της συμπεριφοράς σε κυματισμούς (seakeeping), καθώς όπως γνωρίζουμε είναι ένα θέμα που απασχολεί αρκετά τα δίγαστρα πλοία και που ίσως είναι ένα από τα κύρια μειονεκτήματα τους.
- Μελέτη ελικτικών ικανοτήτων (maneuvering) του υπό μελέτη πλοίου
- Περεταίρω μελέτη και αναλυτικότερος υπολογισμός της αντοχής των κατασκευαστικών στοιχείων του πλοίου ακόμα και σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας (στατικές & δυναμικές καταπονήσεις), με ευρεία χρήση πεπερασμένων στοιχείων σε κατάλληλο πρόγραμμα Η/Υ – Αναλυτική μελέτη διαμήκους αντοχής.
- Μελέτη για την επιλογή των υλικών κατασκευής του πλοίου. Για παράδειγμα, οι υπερκατασκευές μπορεί να κατασκευαστούν από αλουμίνιο, μειώνοντας το συνολικό βάρος του Lightship, αυξάνοντας όμως το κόστος, γεγονός που χρήζει διερεύνησης.
- Αναλυτικότερος υπολογισμός των διαφόρων βαρών που συνθέτουν το κενό σκάφος (μηχανολογική εγκατάσταση, εξοπλισμός, ενδιαίτηση).
- Πλήρης μοντελοποίηση όλων των χώρων του πλοίου ώστε να γίνει βελτιστοποίηση της επιβίβασης ή αποβίβασης των επιβατών και των Ι.Χ. αυτοκινήτων σε κατάλληλο πρόγραμμα Η/Υ.
- Βελτιστοποίηση της κίνησης των επιβατών μέσα στους χώρους ενδιαίτησης κατά την κανονική λειτουργία του πλοίου, αλλά και σε περίπτωση βλάβης ή πυρκαγιάς (Μελέτη και κατάστρωση σχεδίου εκκένωσης)
- Αναλυτική μελέτη και σχεδίαση των χώρων των μηχανοστασίων καθώς και επιλογή και διάταξη όλων των επιμέρους μηχανημάτων που ίσως να απαιτούνται για τη λειτουργία του.
- Χωροταξική βελτιστοποίηση του συνόλου των δεξαμενών για την αποφυγή διαμήκους διαγωγής στην πορεία ενός ταξιδιού, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τυχόν αλλαγές στο βάρος τους, όσο και τυχόν αλλαγές του κέντρου βάρους τους.
- Μια πλήρης τεχνοοικονομική μελέτη του πλοίου, ώστε να καθοριστούν τα λοιπά κόστη (κτίσεως, λειτουργίας) όπου θα καταστήσουν το πλοίο ικανό ή όχι να σταθεί στη ναυλαγορά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

BV 2002, *Rules for the Classification of High Speed Craft*, BUREAU VERITAS.

BV 2011, *Rules for the Classification of Steel Ships*, Bureau Veritas.

CARGOXPRESS 2011, *Model Tests for Calm Water Performance Seakeeping Tests, Project: SEVENTH FRAMEWORK PROGRAMME TRANSPORT*, Ship Design Laboratory NTUA, Athens.

HSCC 1994, *International Code of Safety for High-Speed Craft*, IMO.

HSCC 1994, *International Code of Safety for High-Speed Craft*, IMO.

ICTM 1969, *International Convention on Tonnage Measurement of Ships*, IMO.

ILLC 1966, *International Convention on Load Lines*, IMO.

ILO 1949, *International Labour Conference*, IMO.

Παπανικολάου, Α 2009, *Μελέτη Πλοίου, Α' τόμος*, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.

Παπανικολάου, Α 2009, *Μελέτη Πλοίου, Β' τόμος*, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.

Πολίτης, Γ 2008, *Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου, Σημειώσεις*, ΕΜΠ, Αθήνα.

Σαμουηλίδης, Μ 2007, *Αντοχή Πλοίου, Σημειώσεις*, ΕΜΠ, Αθήνα.

Σκούπας, Σ 2011, *Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για τη Μελέτη και Σχεδίαση - Βελτιστοποίηση Επιβατηγών - Οχηματαγωγών Πλοίων Νέας Τεχνολογίας, διδακτορική διατριβή*, ΕΜΠ, Αθήνα.

RAWSON, K & TUPPER, E 2002, *ΒΑΣΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΠΛΟΙΟΥ, τόμος 1*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα.

RAWSON, K & TUPPER, E 2004, *ΒΑΣΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΠΛΟΙΟΥ, τόμος 2*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Res.A.749(18) 1993, *CODE ON INTACT STABILITY FOR ALL TYPES OF SHIPS COVERED BY IMO INSTRUMENTS*, IMO.

ResA.757(18) 1993, *Standars for the calculation of the width of stairways forming means of escape on passenger ships*, IMO.

SOLAS 1990, *International Convention of the Safety Of Life At Sea*, IMO.

ΚΑΡΥΔΗΣ, Π 2002, *ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ, ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Ν.1594/ 1986, *Κύρωση της 133 Διεθνούς Σύμβασης Εργασίας για την ενδιαίτηση των πληρωμάτων των πλοίων (συμπληρωματικές διατάξεις)*, ΦΕΚ Α'65.

Ν.1637/ 1986, *Κύρωση της 92 Διεθνούς Σύμβασης Εργασίας, για την ενδιαίτηση των πληρωμάτων των πλοίων (αναθεωρητική 1949)*, ΦΕΚ Α'107.

Ν.Δ.973/ 1971, *Περί καταμετρήσεως της χωρητικότητας των εμπορικών πλοίων*, ΦΕΚ Α΄194.

Νίκας, Κ 2012, *Πειραματική και αριθμητική διερεύνηση αντίστασης δίγαστρου πλοίου. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών*, ΕΜΠ, Αθήνα.

Π.Δ.177/ 1974, *Περί οργανικής συνθέσεως των πληρωμάτων των επιβατηγών (ακτοπλοϊκών-μεσογειακών-τουριστικών) πλοίων*, ΦΕΚ Α'64.

Π.Δ.20/ 2012, *Τροποποίηση διατάξεων του π.δ.103/1999 "Κανόνες και πρότυπα ασφαλείας για τα επιβατηγά πλοία σύμφωνα με την Οδηγία 98/18/ΕΚ του Συμβουλίου της 17ης Μαρτίου 1988"(Α'110)*, ΦΕΚ Α'46.

Π.Δ.230/ 1984, *Συμπλήρωση του άρθρου 2 του Π.Δ.177/74 "Περί οργανικής συνθέσεως των πληρωμάτων των επιβατηγών (ακτοπλοϊκών-μεσογειακών-τουριστικών) πλοίων"*, ΦΕΚ Α'85.

Π.Δ.319/ 1996, *Τροποποίηση του Π.Δ.177/74 "Περί οργανικής συνθέσεως των πληρωμάτων των επιβατηγών (ακτοπλοϊκών-μεσογειακών-τουριστικών) πλοίων"*, ΦΕΚ Α΄216.

Π.Δ.44/ 2011, *Κανονισμός Ενδιαιτήσεως και καθορισμού αριθμού επιβατών των επιβατηγών πλοίων*, ΦΕΚ Α'110.

Ιστοσελίδες

VIKING 2006a, *VIKING's evacuation dual chute system*, accessed 15 May 2013, <www.viking-life.com/viking.nsf/p (18)ublic/products-dualchutesystems.html>

VIKING 2006b, *VIKING liferafts*, accessed 15 May 2013, < http://www.viking-life.com/viking.nsf/public/products-throwoverboard.html>

VIKING 2006c, *MOB Rescue Boat by VIKING*, accessed 15 May 2013, < http://www.viking-life.com/viking.nsf/public/products-mobboats.html>

SCHAT HARDING 2011, *Partially Enclosed Lifeboats Systems*, accessed 15 May 2013, <http://www.schat-harding.com/products/partially-enclosed-lifeboats-systems>

VeriSTAR 2013, VeriSTARInfo Rules Freeware, accessed 17 May 2013, <http://www.veristar.com/wps/portal/!ut/p/_s.7_0_A/7_0_186N?content=veristarinfo,rulessoftware>

Google 2013, Google Earth, accessed 5 May 2013, <http://www.google.com/earth/index.html>

Pinkfoot 2013, Shipfinder, accessed 5 May 2013, <www.shipfinder.co>

Yangzhou Walter Electrical Equipment Co.,LTD < http://wetgenset.en.ecplaza.net/walter-zichai-marine-series--358156-2861966.html >

Wärtsilä 2013a, Wärtsilä 26, accessed 27 May 2013, <http://www.wartsila.com/en/engines/medium-speed-engines/wartsila26>

Wärtsilä 2013b, Wärtsilä Single Input Gears, accessed 27 May 2013, < http://www.wartsila.com/en/gears/wartsila-gears/Single-Input-Gears>

MAN Diesel & turbo 2013, Medium Speed Marine GenSets, accessed 27 May 2013, <http://www.mandieselturbo.com/0000947/Products/Marine-Engines-and-Systems/Medium-Speed/GenSets.html>

Yangzhou Walter Electrical Equipment Co.,LTD < http://wetgenset.en.ecplaza.net/walter-zichai-marine-series--358156-2861966.html >

Προγράμματα Η/Υ

Autocad for Microsoft Windows 2012, software, version F.51.0.0, Autodesk Inc., San Rafael, California

Office Excel for Microsoft Windows 2007, software, version 12 SP3, Microsoft Corporation, Redmond, Washington

Marine Lines for Microsoft Windows 2006, software, version 12.0.4.0, AVEVA Group plc, High Cross, Cambridge

Marine Surface for Microsoft Windows 2006, software, version 12.0.4.0, AVEVA Group plc, High Cross, Cambridge

Marine CalcM for Microsoft Windows 2006, software, version 12.0.4.0, AVEVA Group plc, High Cross, Cambridge

Grid for Microsoft Windows 2000, software, version 2000, Gerasimos Politis

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ‘’Α’’

Σχέδιο Γενικής Διάταξης του πλοίου (General Arrangement)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ‘’Β’’

Σχέδιο Μέσης Τομής του πλοίου(Midship Section)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ‘’Γ’’

Σχέδιο Καταστρωμάτων του πλοίου (Profile & Decks)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ‘’Δ’’

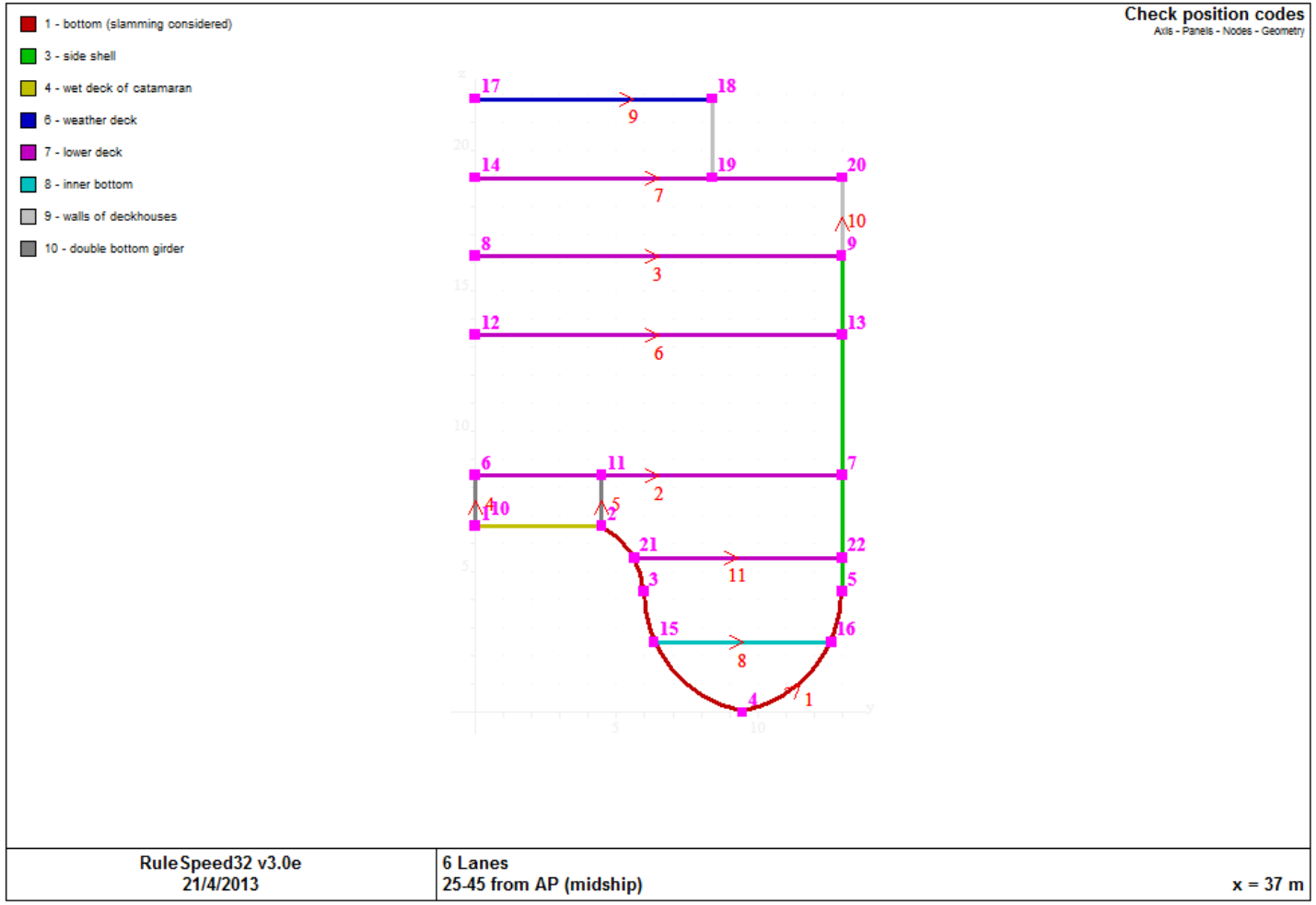
Σχέδια εγκαρσίων τομών
του πλοίου σε επιλεγμένες ισαποστάσεις,
από την από την εφαρμογή Marspeed.

Αρχικά στην εφαρμογή Marspeed του Bureau Veritas, κατασκευάσαμε το περίγραμμα κάθε εγκάρσιας τομής. Στη συνέχεια, ορίσαμε το είδος του κάθε ελάσματος, δηλαδή αν είναι πλευρικό έλασμα, έλασμα πυθμένα κτλ, ώστε να λάβει την αντίστοιχη φόρτιση αλλά και το κατάλληλο κριτήριο για τον υπολογισμό του ελάχιστου επιτρεπόμενου πάχους ελάσματος. Έπειτα επιλέξαμε μέχρι ποιο ύψος από τη βασική γραμμή αναφοράς τα panels θα συμμετέχουν στην αντοχή (Bending Efficiency), και τέλος προχωρήσαμε στον υπολογισμό ελασμάτων και ενισχυτικών ώστε να ικανοποιούνται τα κριτήρια του νηογνώμονα.

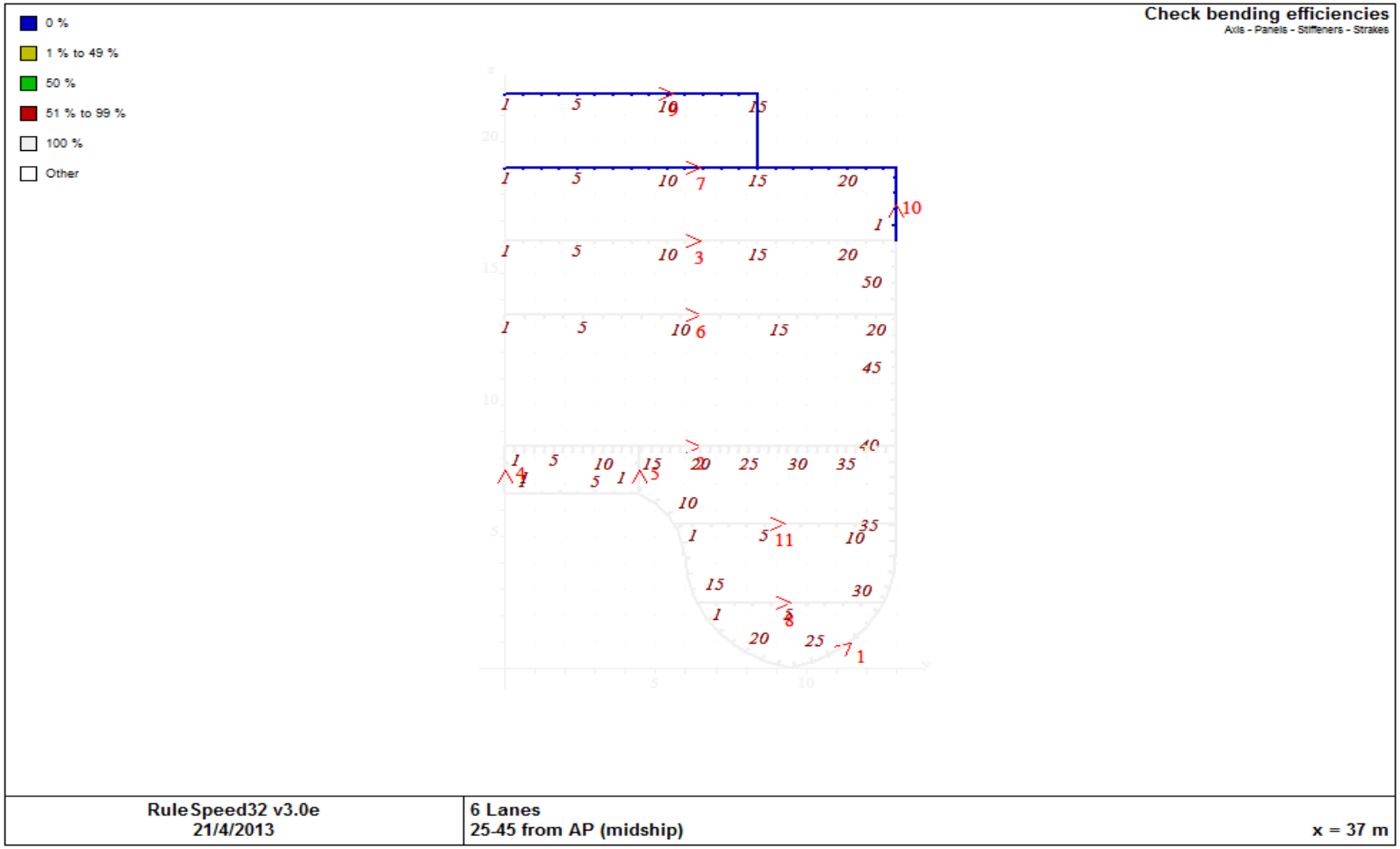
Παρακάτω, αρχικά παρουσιάζονται δύο εικόνες της μέσης τομής του πλοίου, όπου φαίνονται το πώς ορίστηκε κάθε panel, καθώς και το ποσοστό συμμετοχής τους στην αντοχή αντίστοιχα.

Ακολούθως, φαίνονται όλες οι εγκάρσιες τομές που κατασκευάστηκαν, καθώς και το ποσοστό φόρτισης του κάθε ελάσματος, σε κάθε τομής.

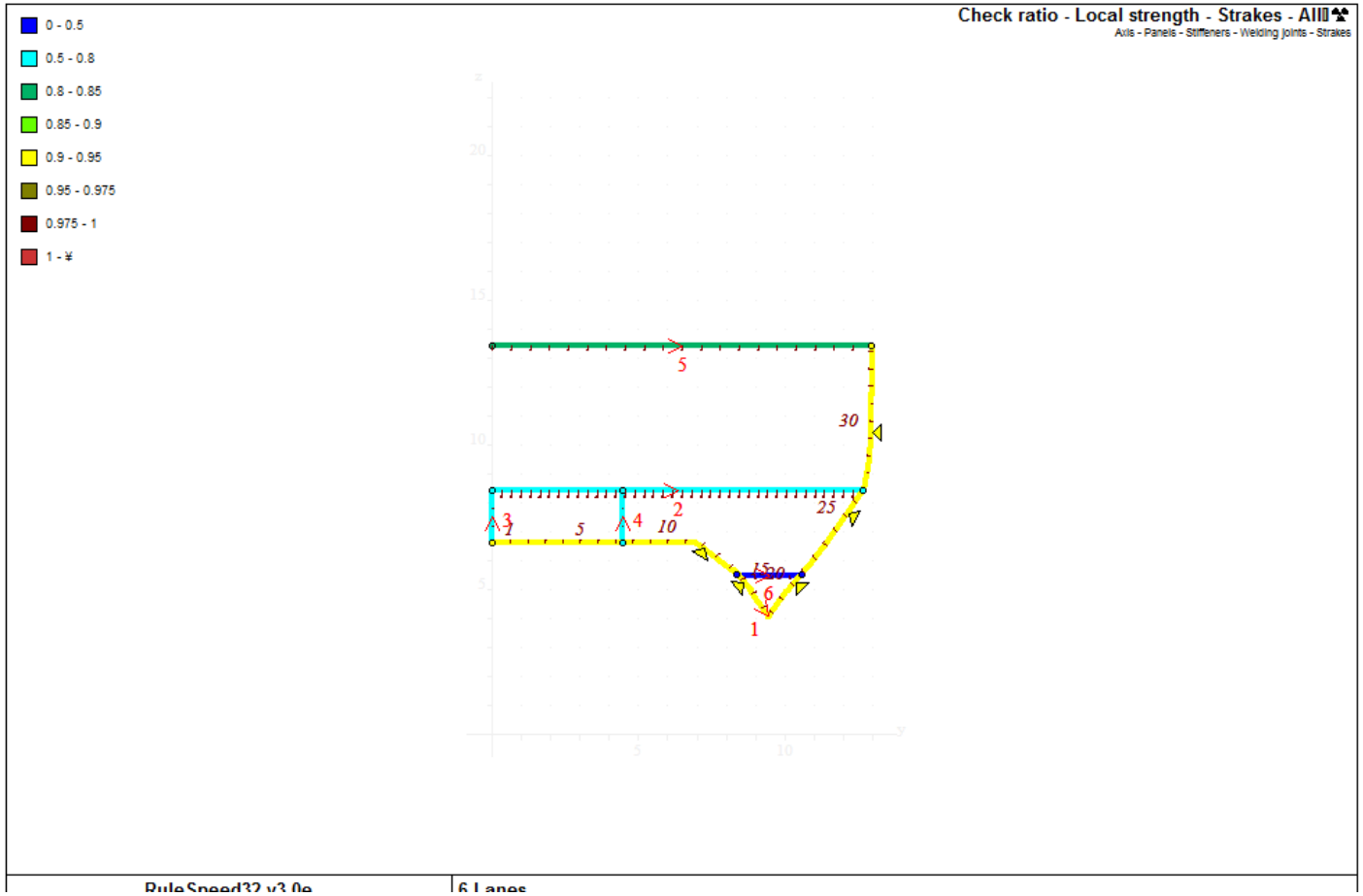
1. Ορισμός είδους panel στη μεσαία τομή (αντίστοιχα έγινε και στις υπόλοιπες τομές):



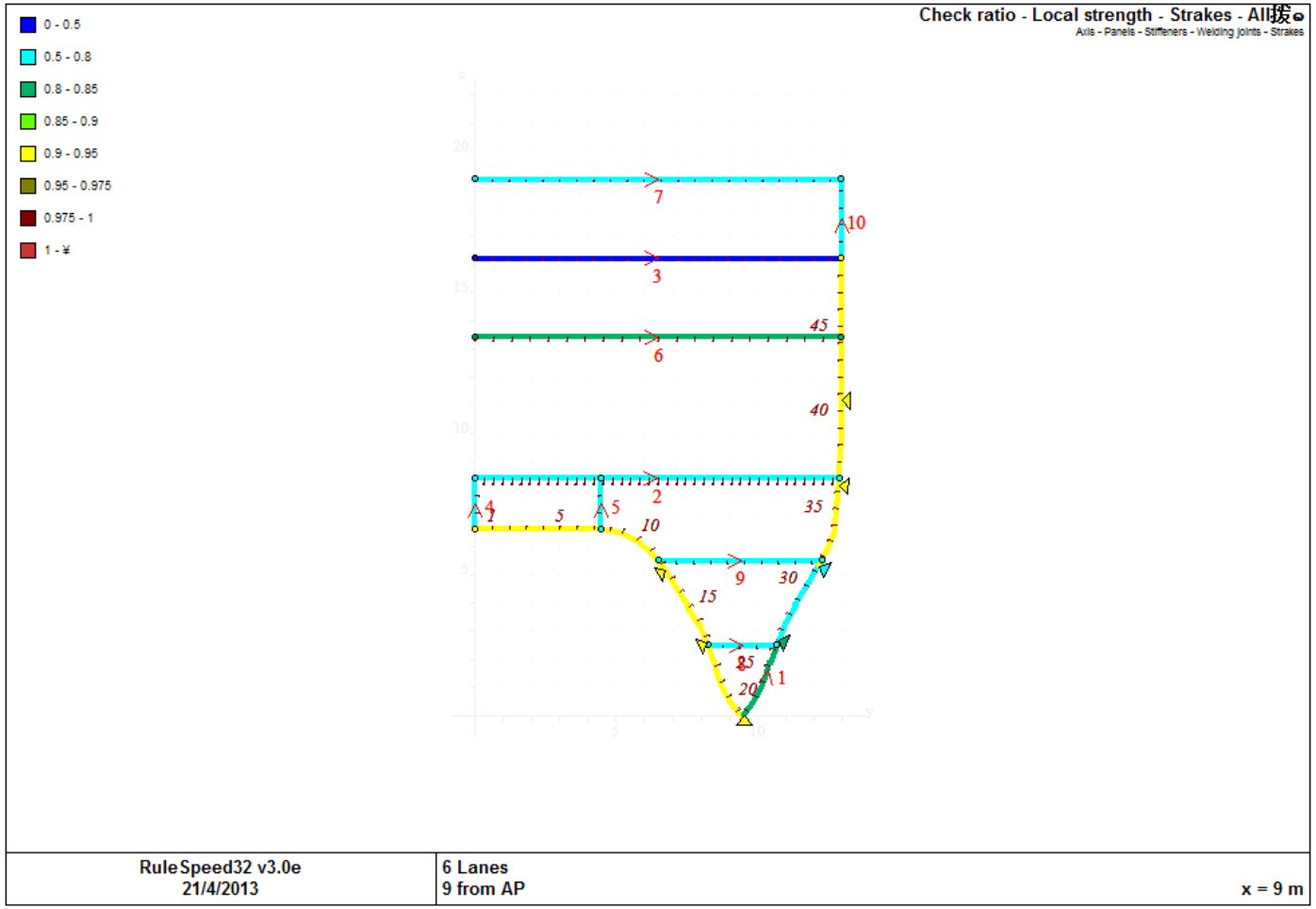
2. Midship Bending Efficiency (αντίστοιχα έγινε και στις υπόλοιπες τομές):



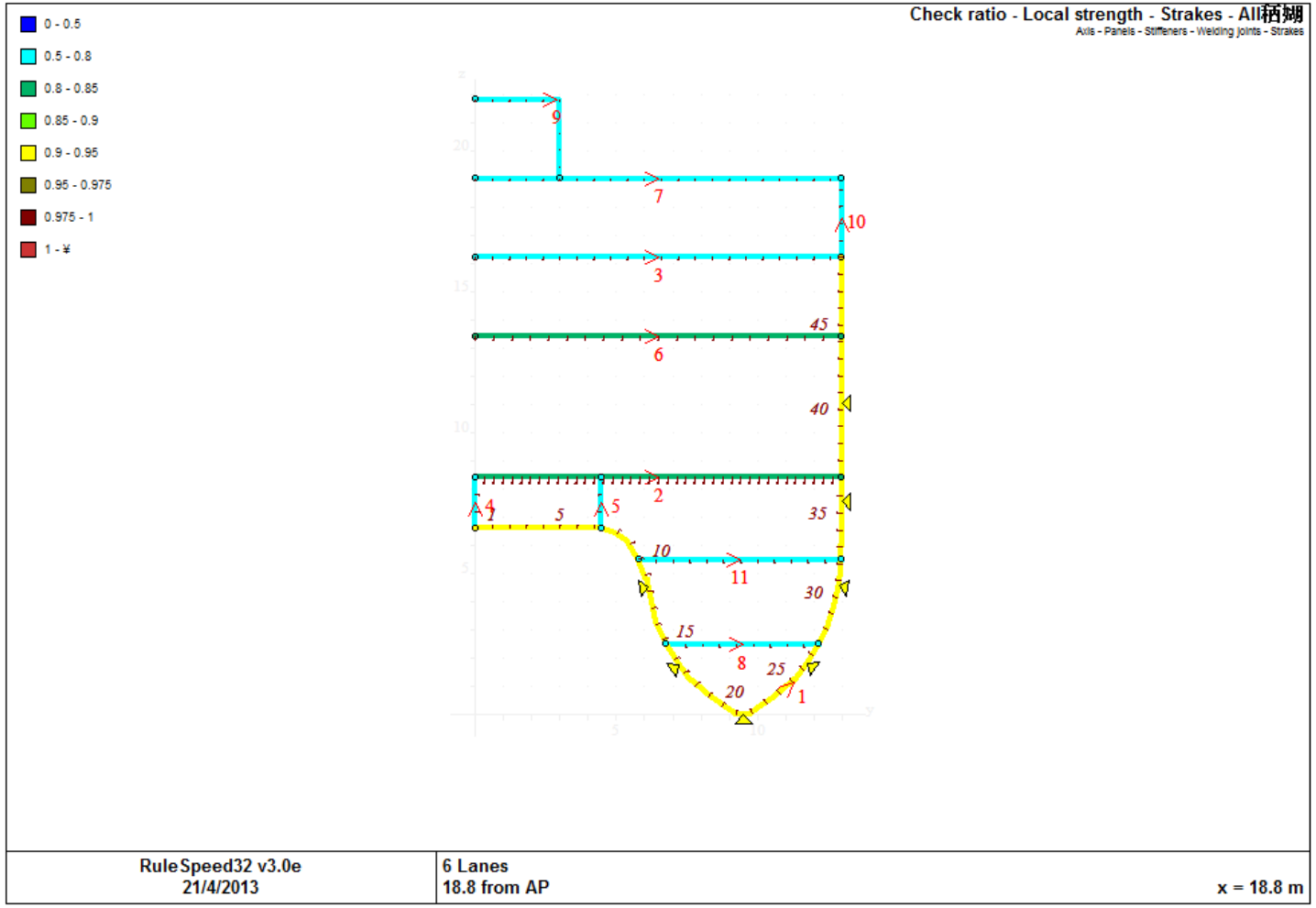
3. Εγκάρσιες τομές:
✓ 2.4m of A.P:



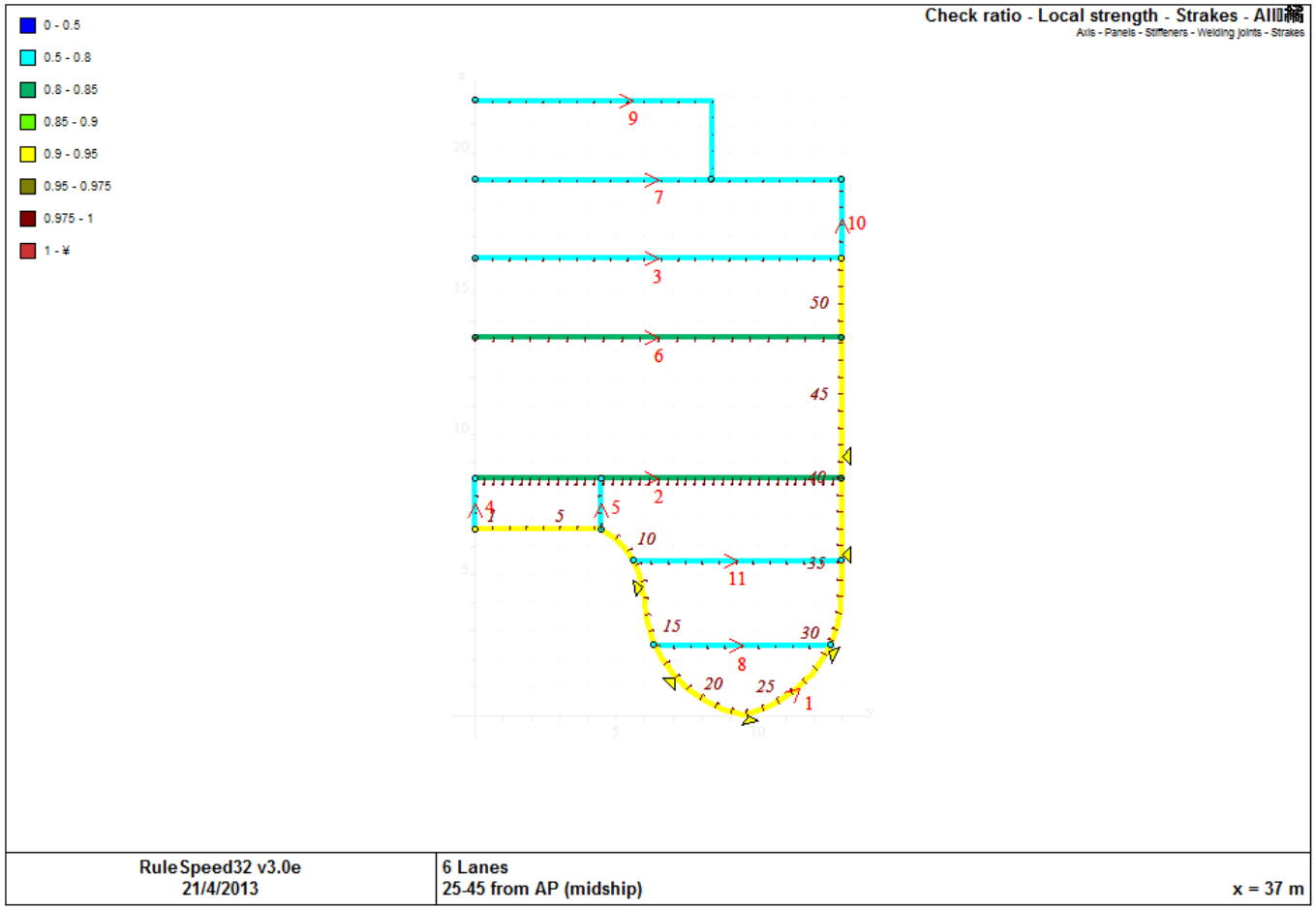
✓ 9m of A.P:


Check ratio - Local strength - Strakes - All
Axis - Panels - Stiffeners - Welding joints - Strakes
0 - 0.5
0.5 - 0.8
0.8 - 0.85
0.85 - 0.9
0.9 - 0.95
0.95 - 0.975
0.975 - 1
1 - ¥
RuleSpeed32 v3.0e
21/4/2013
6 Lanes
9 from AP
x = 9 m

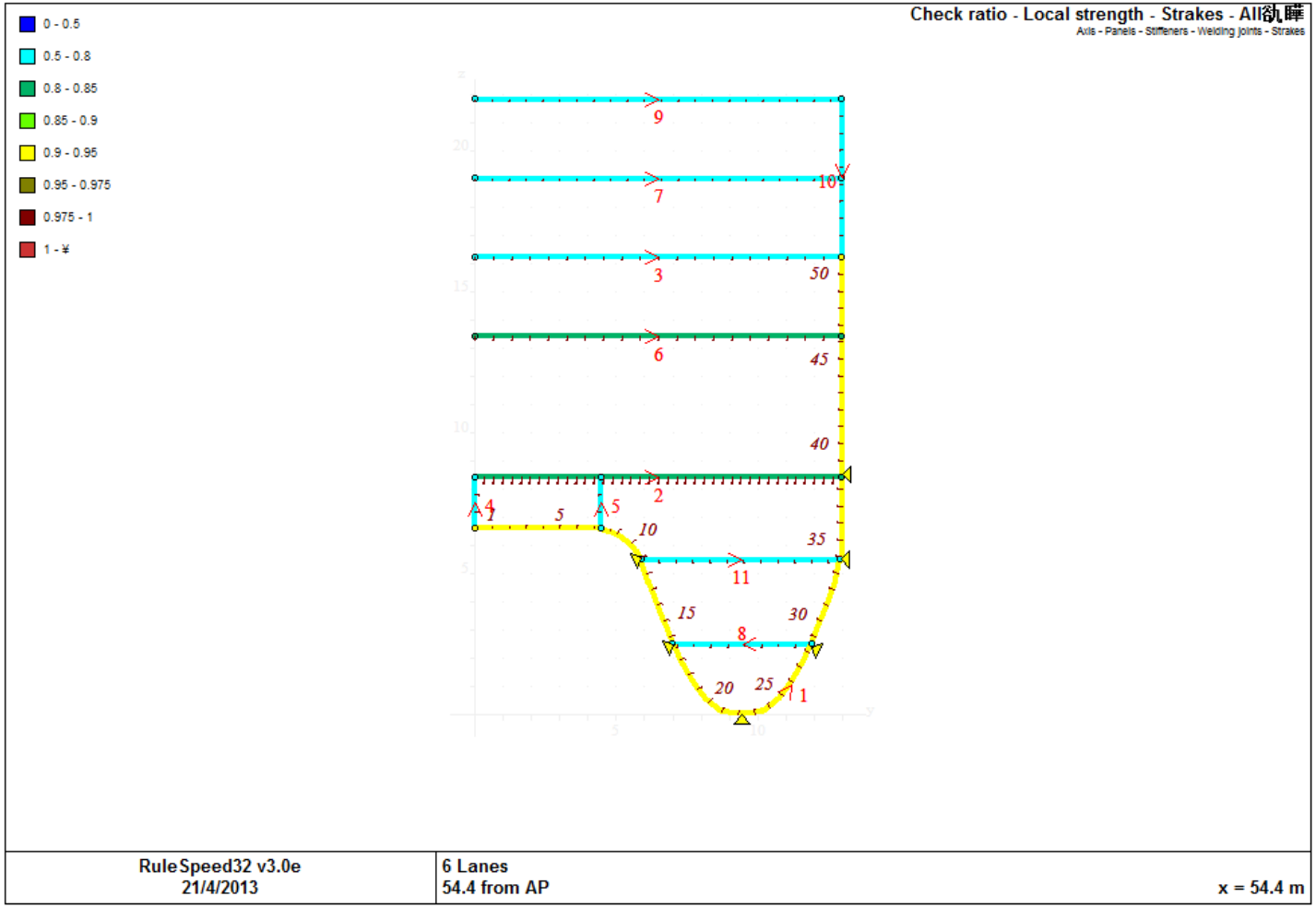
✓ 18.8m of A.P:


Check ratio - Local strength - Strakes - All
Axis - Panels - Stiffeners - Welding joints - Strakes
0 - 0.5
0.5 - 0.8
0.8 - 0.85
0.85 - 0.9
0.9 - 0.95
0.95 - 0.975
0.975 - 1
1 - ¥
RuleSpeed32 v3.0e
21/4/2013
6 Lanes
18.8 from AP
x = 18.8 m

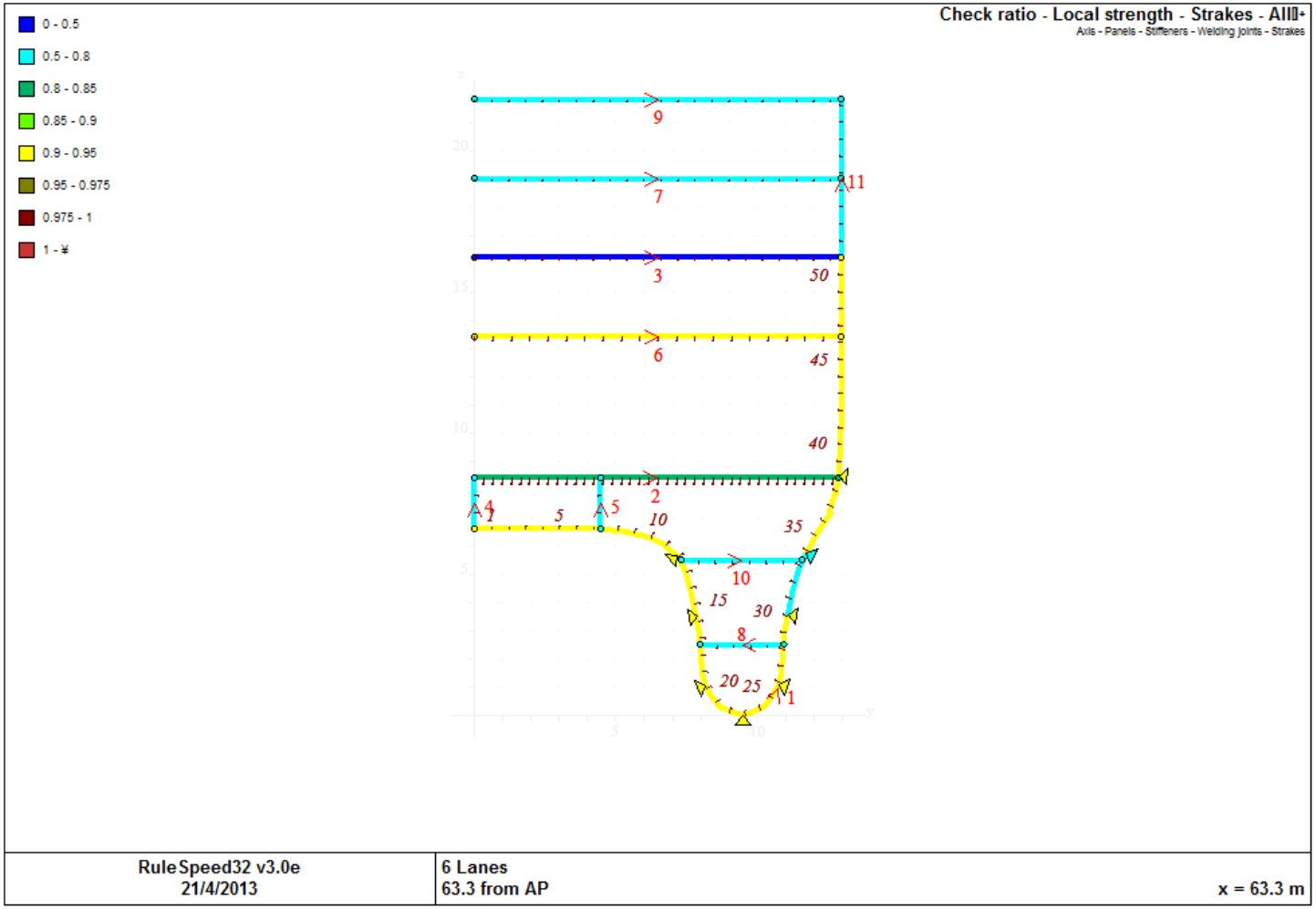
✓ Midship Section (25m & 45m of A.P.):



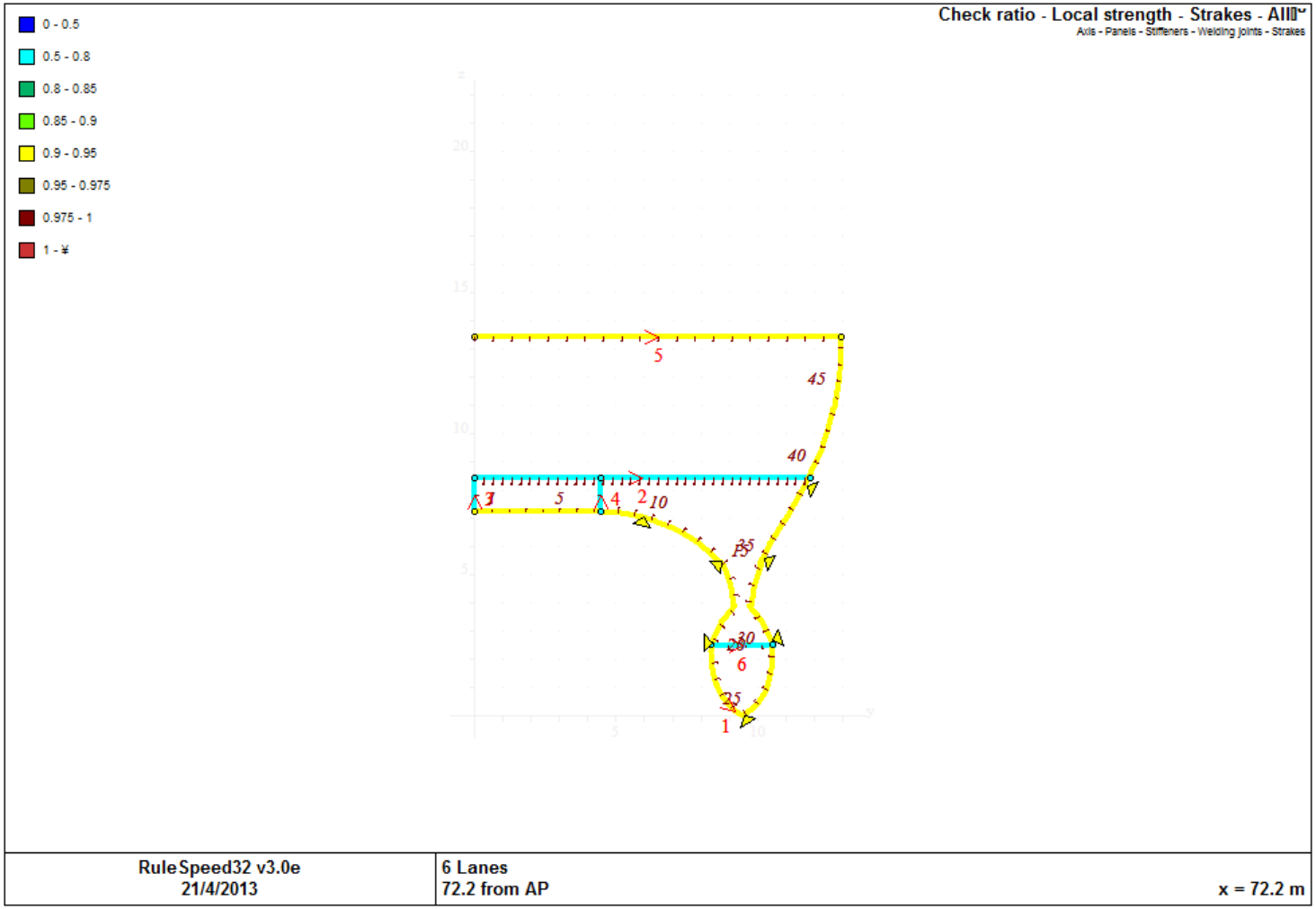
✓ 54.4m of A.P:


Check ratio - Local strength - Strakes - All
Axis - Panels - Stiffeners - Welding joints - Strakes
0 - 0.5
0.5 - 0.8
0.8 - 0.85
0.85 - 0.9
0.9 - 0.95
0.95 - 0.975
0.975 - 1
1 - ¥
RuleSpeed32 v3.0e
21/4/2013
6 Lanes
54.4 from AP
x = 54.4 m

✓ 63.3m of A.P:


Check ratio - Local strength - Strakes - All
Axis - Panels - Stiffeners - Welding joints - Strakes
0 - 0.5
0.5 - 0.8
0.8 - 0.85
0.85 - 0.9
0.9 - 0.95
0.95 - 0.975
0.975 - 1
1 - ¥
RuleSpeed32 v3.0e
21/4/2013
6 Lanes
63.3 from AP
x = 63.3 m

✓ 72.2m of A.P:


Check ratio - Local strength - Strakes - All
Axis - Panels - Stiffeners - Welding joints - Strakes
0 - 0.5
0.5 - 0.8
0.8 - 0.85
0.85 - 0.9
0.9 - 0.95
0.95 - 0.975
0.975 - 1
1 - ¥
RuleSpeed32 v3.0e
21/4/2013
6 Lanes
72.2 from AP
x = 72.2 m

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ‘’Ε’’

Βασικά Στοιχεία Κύριων Μηχανών Πρόωσης, Ηλεκτρογεννητριών & Μειωτήρων

Κύριες Μηχανές πρόωσης:

Τα κύρια χαρακτηριστικά καθώς και ένα σκαρίφημα των μηχανών που επιλέχθηκαν για την πρόωση του πλοίου, φαίνονται παρακάτω:

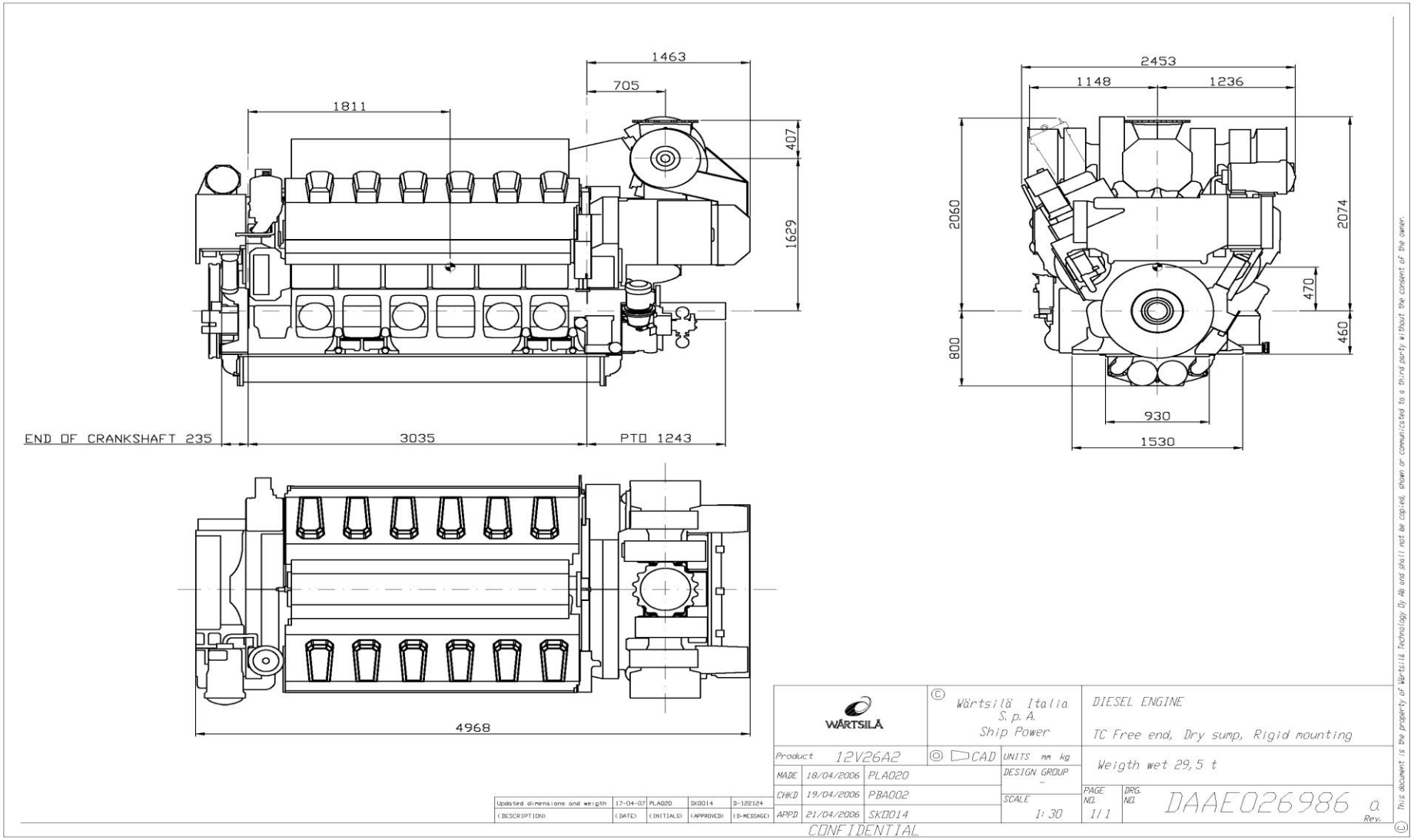
Wärtsilä 26 - Product Guide WÄRTSILÄ Engines

Wärtsilä 12V26

Wärtsilä 12V26, IMO Tier 2		ME IMO Tier 2
Cylinder output	**kW/cyl**	**340**
Engine speed	**rpm**	**1000**
Engine output	kW	4080
Mean effective pressure	MPa	2.4
Combustion air system (Note 1)		
Flow of air at 100% load	kg/s	8.2
Temperature at turbocharger intake, max.	°C	45
Air temperature after air cooler, nom. (TE601)	°C	50
Exhaust gas system (Note 2)		
Flow at 100% load	kg/s	8.4
Flow at 85% load	kg/s	0.0
Flow 75% load	kg/s	0.0
Flow 50% load	kg/s	0.0
Temp. after turbo, 100% load (TE517)	°C	328
Temp. after turbo, 85% load (TE517)	°C	0
Temp. after turbo, 75% load (TE517)	°C	0
Temp. after turbo, 50% load (TE517)	°C	0
Backpressure, max.	kPa	3.0
Exhaust gas pipe diameter, min	mm	700
Calculated exhaust diameter for 35 m/s	mm	719
Heat balance (Note 3)		
Jacket water, HT-circuit	kW	744
Charge air, HT-circuit	kW	1065
Charge air, LT-circuit	kW	351
Lubricating oil, LT-circuit	kW	610
Radiation	kW	195
Fuel system (Note 4)		
Pressure before injection pumps (PT101)	kPa	700±50
Fuel flow to engine, approx	m³/h	3.5
Pump capacity at 12 cSt, engine driven (MDF only)	m³/h	5.2
HFO viscosity before engine	cSt	16.0...24.0
MDF viscosity, min	cSt	2.0
HFO temperature before engine, max. (TE 101)	°C	140.0
Fuel consumption at 100% load	g/kWh	192
Fuel consumption at 85% load	g/kWh	189
Fuel consumption at 75% load	g/kWh	191
Fuel consumption at 50% load	g/kWh	199
Clean leak fuel quantity, MDF at 100% load	kg/h	16.4
Clean leak fuel quantity, HFO at 100% load	kg/h	3.3
Lubricating oil system (Note 5)		
Pressure before bearings, nom. (PT201)	kPa	450
Pressure after pump, max.	kPa	0
Suction ability including pipe loss, max.	kPa	0
Priming pressure, nom. (PT201)	kPa	80
Temperature before bearings, nom. (TE201)	°C	63
Temperature after engine, approx.	°C	79
Pump capacity (main), engine driven	m³/h	110
Pump capacity (main), stand-by	m³/h	83
Priming pump capacity, 50Hz/60Hz	m³/h	20 / 25
Oil volume, wet sump, nom.	m³	2.4
Oil volume in separate system oil tank, nom.	m³	5.5
Oil consumption (100% load), approx.	g/kWh	0.5
Crankcase ventilation flow rate	l/min/cyl	100
Crankcase backpressure (max)	kPa	0.3
Oil volume in speed governor	l	1.4 / 2.0
High temperature cooling water system		
Pressure at engine, after pump, nom. (PT401)	kPa	350 + static
Pressure at engine, after pump, max. (PT401)	kPa	500
Temperature before cylinders, approx. (TE401)	°C	73
HT-water out from the engine, nom (TE402)	°C	93
Capacity of engine driven pump, nom.	m³/h	67

Product Guide W26 - 1/2009

Wärtsilä 12V26, IMO Tier 2		ME IMO Tier 2
Cylinder output	**kW/cyl**	**340**
Engine speed	**rpm**	**1000**
Pressure drop over engine	kPa	160
Pressure drop in external system, max	kPa	60
Pressure from expansion tank	kPa	70...150
Water volume in engine	m³	0.55
Low temperature cooling water system		
Pressure at engine, after pump, nom. (PT471)	kPa	350 + static
Pressure at engine, after pump, max. (PT471)	kPa	500
Temperature before engine (TE471)	°C	25...38
Capacity of engine driven pump, nom.	m³/h	67
Pressure drop in external system, max.	kPa	60
Pressure drop over charge air cooler	kPa	0
Pressure drop over oil cooler	kPa	71
Pressure drop over temperature control valve	kPa	0
Pressure from expansion tank	kPa	70...150
Starting air system (Note 6)		
Pressure, nom.	kPa	3000
Pressure at engine during start, min. (+20°C)	kPa	1800
Pressure, max.	kPa	3300
Low pressure limit in air vessels	kPa	1800
Consumption per start 20°C (successful start)	Nm³	3.0


1463
705
1811
407
1629
END OF CRANKSHAFT 235
3035
PTO 1243
4968
2453
1148
1236
2060
2074
470
460
800
930
1530
WÄRTSILÄ
© Wärtsilä Italia S. p. A. Ship Power
DIESEL ENGINE
TC Free end, Dry sump, Rigid mounting
Product 12V26A2
CAD
UNITS mm kg
Weigth wet 29,5 t
MADE 18/04/2006 PLA020
DESIGN GROUP -
CHKD 19/04/2006 PBA002
APPD 21/04/2006 SK0014
SCALE 1:30
PAGE NO. 1/1
DRG. NO. DAAE026986 a
Rev.
Updated dimensions and weigth 17-04-07 PLA020 SK0014 B-122124
(DESCRIPTION) (DATE) (INITIALS) (APPROVED) (B-MESSAGE)
CONFIDENTIAL
© This document is the property of Wärtsilä Technology Oy Ab and shall not be copied, shown or communicated to a third party without the consent of the owner.

Κύριες Ηλεκτρογεννήτριες:

Τα κύρια χαρακτηριστικά, καθώς και ένα σκαρίφημα των ηλεκτρογεννητριών που επιλέχθηκαν για την παραγωγή ισχύος στο πλοίου, φαίνονται παρακάτω:

MAN Diesel & Turbo

MAN L16/24

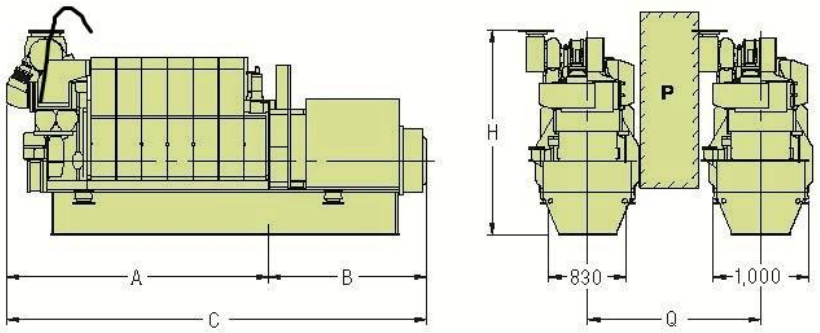
Bore: 160 mm, Stroke: 240 mm

Speed	r/min	1,200		1,000	
Frequency	Hz	60		50	
		Eng. kW	Gen. kW*	Eng. kW	Gen. kW*
5L16/24		500	475	450	428
6L16/24		660	627	570	542
7L16/24		770	732	665	632
8L16/24		880	836	760	722
9L16/24		990	941	855	812

Dimensions

Cyl. No.		5	6	7	8	9
	r/min	1200/1000	1200/1000	1200/1000	1200/1000	1200/1000
A	mm	2,807	3,082	3,557	3,832	4,107
B	mm	1,400	1,490	1,585	1,680	1,680
C	mm	4,207	4,572	5,142	5,512	5,787
H	mm	2,337	2,337	2,415/2,337	2,415	2,415
Dry Mass	t	9.5	10.5	11.4	12.4	13.1

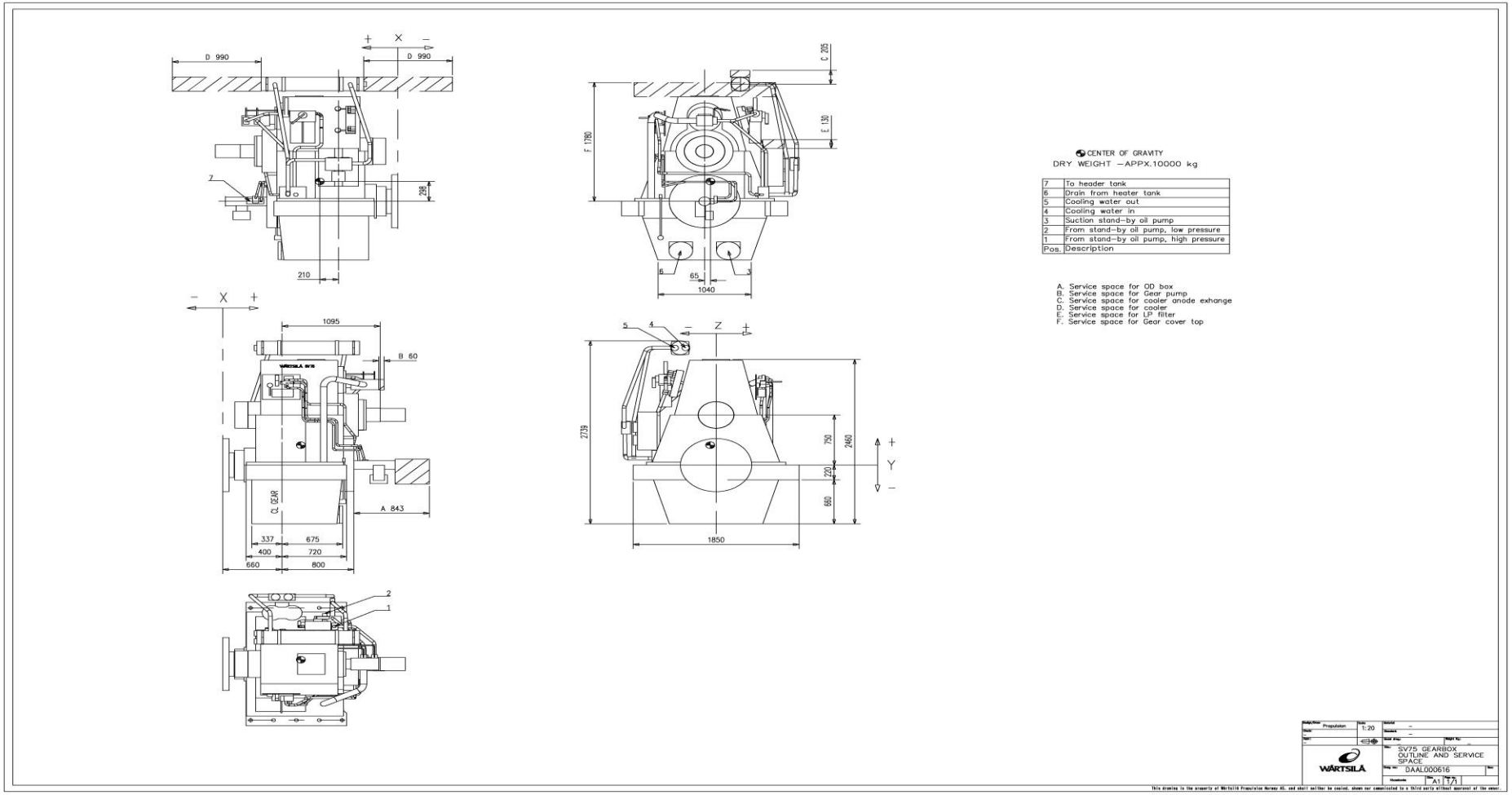
** Based on nominal generator efficiencies of 95%*



P Free passage between the engines, width 600 mm and height 2,000 mm
Q ~Min. distance between centre of engines: 1,800 mm.

Μειωτήρες:

Σκαρίφημα επιλεγμένων μειωτήρων:



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ‘’Ζ’’

Υπολογισμοί Αντίστασης για τις υπόλοιπες καταστάσεις πλεύσης του προτύπου δοκιμών

Παρακάτω, θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα της αντίστασης για κάθε κατάσταση φόρτωσης στην οποία έγιναν πειράματα με το πρότυπο δοκιμών. Στον **Πίνακα Ζ.1,** παρουσιάζονται τα υδροστατικά στοιχεία του μοντέλου, όπως προκύπτουν για κάθε κατάσταση:

Πίνακας Ζ.1:Υδροστατικά Στοιχεία Μοντέλου

A/A	Trim	Lwl [m]	T [m]	Disp [t]	Vol [m^3]	WSA [m^2]
A1	0	3,309	0,146	0,143	0,146	3,049
A2	0	3,248	0,161	0,164	0,162	2,719
A3	0	3,233	0,186	0,198	0,197	3,061
B3	-0,5	3,233	0,186	0,198	0,197	3,059
C2	-1	3,329	0,161	0,164	0,162	2,703

Για την παραγωγή των αποτελεσμάτων που θα παραθέσουμε, έχει εκτελεστεί η μέθοδος Hughes για κάθε κατάσταση φόρτωσης. Αναλυτικά η εφαρμογή της μεθόδου, φαίνεται μόνο για την κατάσταση φόρτωσης A_3, στο κεφάλαιο 9 ''ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ''. Εδώ, για τις υπόλοιπες καταστάσεις, θα παρουσιαστούν συνοπτικά οι μετρήσεις, κάποιοι ενδιάμεσοι υπολογισμοί, και τα τελικά αποτελέσματα.

Έτσι, από τις ναυπηγικές γραμμές του πλοίου και από το Σχέδιο Γενικής Διάταξης, υπολογίζουμε τα απαραίτητα στοιχεία του υπό μελέτη πλοίου ώστε να υπολογιστεί η αντίστασή του. Τελικά έχουμε:

Πίνακας Ζ.2:Υδροστατικά Στοιχεία Υπό Μελέτης πλοίου

	A1	A2	A3	B3	C2
Lwl [m]	78,42	76,98	76,63	76,62	78,89
Wetted Surface [m^2]	1398,51	1527,13	1719,09	1718,10	1518,15
T [m]	3,46	3,82	4,42	4,41	3,82
Volume [m^3]	1943,37	2156,34	2623,12	2622,212	2156,34

Στη συνέχεια, φαίνονται για κάθε κατάσταση, τα αποτελέσματα των πειραμάτων, που εκτελέστηκαν:

Κατάσταση A_1:

V_M	R_M	RN_M	CT_M	CF_M	C_R	FN
m/s	Kp	*10^-6	*10^3	*10^3	*10^3	
0,305	0,073	0,910	6,186	4,786	1,400	0,054
0,408	0,129	1,217	6,108	4,494	1,614	0,072
0,518	0,191	1,545	5,611	4,274	1,336	0,091
0,620	0,269	1,849	5,516	4,119	1,397	0,109
0,727	0,379	2,168	5,652	3,989	1,663	0,128
0,833	0,517	2,484	5,873	3,882	1,990	0,146
0,941	0,662	2,806	5,893	3,791	2,102	0,165
1,042	0,815	3,107	5,917	3,716	2,200	0,183
1,152	0,990	3,435	5,880	3,645	2,235	0,202
1,256	1,130	3,746	5,646	3,586	2,061	0,220
1,365	1,348	4,071	5,703	3,530	2,173	0,240
1,466	1,483	4,372	5,439	3,483	1,957	0,257
1,575	1,676	4,697	5,326	3,436	1,889	0,276
1,680	2,045	5,010	5,711	3,395	2,316	0,295
1,786	2,330	5,326	5,758	3,357	2,400	0,313

Κατάσταση A_2:

V_M	R_M	RN_M	CT_M	CF_M	C_R	FN
m/s	Kp	*10^-6	*10^3	*10^3	*10^3	
0,302	0,081	0,904	6,416	4,792	1,624	0,054
0,411	0,129	1,230	5,517	4,483	1,033	0,073
0,518	0,196	1,551	5,277	4,271	1,006	0,092
0,625	0,285	1,871	5,271	4,109	1,161	0,111
0,730	0,393	2,186	5,328	3,983	1,345	0,129
0,836	0,527	2,503	5,447	3,877	1,571	0,148
0,940	0,683	2,814	5,584	3,788	1,795	0,167
1,045	0,845	3,129	5,590	3,711	1,878	0,185
1,160	1,036	3,473	5,562	3,638	1,924	0,206
1,259	1,181	3,769	5,382	3,581	1,801	0,223
1,364	1,404	4,084	5,451	3,527	1,924	0,242
1,471	1,549	4,404	5,171	3,478	1,694	0,261
1,577	1,832	4,721	5,322	3,433	1,889	0,279
1,682	2,246	5,036	5,735	3,392	2,343	0,298
1,788	2,507	5,353	5,665	3,354	2,311	0,317

Κατάσταση B_3:

V_M	R_M	RN_M	CT_M	CF_M	C_R	FN
m/s	Kp	*10^-6	*10^3	*10^3	*10^3	
0,306	0,094	0,947	6,443	4,744	1,699	0,054
0,408	0,156	1,262	6,015	4,459	1,555	0,072
0,518	0,234	1,602	5,597	4,242	1,355	0,092
0,620	0,321	1,918	5,360	4,089	1,271	0,110
0,727	0,428	2,249	5,197	3,960	1,237	0,129
0,833	0,566	2,577	5,235	3,854	1,381	0,148
0,939	0,736	2,905	5,357	3,765	1,592	0,167
1,045	0,913	3,233	5,366	3,688	1,678	0,186
1,149	1,115	3,555	5,421	3,622	1,799	0,204
1,257	1,315	3,889	5,341	3,560	1,781	0,223
1,361	1,544	4,210	5,350	3,507	1,843	0,242
1,468	1,743	4,541	5,191	3,458	1,733	0,261
1,577	2,112	4,879	5,451	3,412	2,038	0,280
1,682	2,657	5,203	6,028	3,372	2,656	0,299
1,786	2,966	5,525	5,968	3,335	2,633	0,317

Κατάσταση C_2:

V_M	R_M	RN_M	CT_M	CF_M	C_R	FN
m/s	Kp	*10^-6	*10^3	*10^3	*10^3	
0,313	0,078	0,951	5,784	4,739	1,045	0,055
0,421	0,145	1,279	5,943	4,447	1,497	0,075
0,525	0,207	1,595	5,456	4,246	1,210	0,093
0,634	0,295	1,927	5,332	4,085	1,247	0,112
0,738	0,427	2,243	5,696	3,962	1,733	0,131
0,841	0,594	2,556	6,101	3,861	2,240	0,149
0,938	0,736	2,850	6,077	3,779	2,298	0,166
1,045	0,919	3,175	6,114	3,701	2,413	0,185
1,159	1,123	3,522	6,073	3,628	2,446	0,205
1,254	1,286	3,810	5,941	3,574	2,367	0,222
1,363	1,528	4,142	5,975	3,518	2,457	0,242
1,471	1,673	4,470	5,617	3,468	2,149	0,261
1,574	1,856	4,783	5,442	3,425	2,018	0,279
1,681	2,280	5,108	5,862	3,383	2,478	0,298
1,787	2,546	5,430	5,792	3,345	2,447	0,317

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε πως κατά την εκτέλεση της μεθόδου του Hughes, χρειάζεται ο αδιάστατος συντελεστής *k*.

Για τον πειραματικό προσδιορισμό του συντελεστή αυτού, πραγματοποιούνται πειράματα σε πολύ μικρές ταχύτητες και άρα μικρούς αριθμούς Froude όπου η αντίσταση κυματισμού C_W μπορεί να θεωρηθεί ίση με το μηδέν. Από τη διπλωματική εργασία του Κωνσταντίνου Νίκα (Νίκας 2012), έχουμε πως ο συντελεστής *k* ισούται για κάθε κατάσταση φόρτωσης με:

	Συντελεστής *k*
A1	0,256565
A2	0,221249
A3	0,260904
B3	0,309204
C2	0,157738

Έτσι, εφαρμόζοντας την μεθοδολογία που παρουσιάστηκε κεφάλαιο 9 ‘’ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ’’, έχουμε για κάθε κατάσταση:

Κατάσταση A_1:

Πίνακας Ζ.3: Πίνακας Αποτελεσμάτων για την A_1

VS	RE	CF	CW	CT	FN	RT – Clean Hull	EHP– Clean Hull	RT – Foulded Hull	EHP– Foulded Hull	SHP– Clean Hull	SHP– Foulded Hull
knots						kN	kW	kN	kW	kW	kW
8	267616453,2	0,001815	0,000994	0,003676	0,15	43,2	175,7	51,9	210,8	304,6	381,7
9	302313424,3	0,001786	0,001130	0,003774	0,17	56,6	260,0	68,0	312,0	451,0	565,0
10	334761517,6	0,001762	0,001247	0,003861	0,18	71,1	361,2	85,3	433,5	626,5	784,9
11	370101025,3	0,001738	0,001300	0,003884	0,20	87,4	491,0	104,8	589,2	851,7	1067,1
12	403512923,4	0,001719	0,001140	0,003700	0,22	98,9	606,2	118,7	727,5	1051,5	1317,4
13	438531162,7	0,001700	0,001268	0,003804	0,24	120,1	800,0	144,2	960,0	1387,8	1738,7
14	470979256,1	0,001684	0,001063	0,003579	0,26	130,4	932,5	156,5	1119,0	1617,5	2026,5
15	505997495,5	0,001669	0,001008	0,003505	0,28	147,4	1132,3	176,8	1358,8	1964,1	2460,6
16	539730661,8	0,001655	0,001444	0,003924	0,29	187,7	1538,5	225,3	1846,2	2669,3	3344,1
17	573785096,4	0,001642	0,001539	0,004002	0,31	216,4	1885,4	259,7	2262,5	3271,5	4098,6
18	608160799,3	0,001630	0,001224	0,003672	0,33	223,0	2059,6	267,7	2471,5	3573,1	4476,5
19	642215233,9	0,001618	0,001185	0,003619	0,35	245,1	2390,3	294,2	2868,4	4146,9	5195,4
20	675948400,3	0,001608	0,001573	0,003994	0,37	299,8	3075,9	359,7	3691,1	5337,5	6687,0
21	709681566,7	0,001598	0,002696	0,005104	0,39	422,5	4549,6	507,0	5459,5	7897,8	9894,6
22	743414733,0	0,001589	0,004083	0,006479	0,41	588,7	6638,5	706,4	7966,2	11527,5	14442,1

Κατάσταση A_2:

Πίνακας Ζ.4: Πίνακας Αποτελεσμάτων για την A_2

VS	RE	CF	CW	CT	FN	RT – Clean Hull	EHP– Clean Hull	RT – Foulded Hull	EHP– Foulded Hull	SHP– Clean Hull	SHP– Foulded Hull
knots						kN	kW	kN	kW	kW	kW
8	263629095,7	0,001819	0,000691	0,003313	0,15	42,9	174,8	51,5	209,7	303,8	364,6
9	296425059,8	0,001791	0,000937	0,003524	0,17	57,7	264,3	69,3	317,1	459,4	551,3
10	329536369,6	0,001765	0,001038	0,003594	0,19	72,8	370,3	87,3	444,4	643,7	772,5
11	365801137,6	0,001741	0,001100	0,003627	0,21	90,5	511,1	108,6	613,4	888,6	1066,3
12	397020372,6	0,001722	0,000990	0,003493	0,22	102,7	629,4	123,2	755,3	1094,2	1313,0
13	430131682,5	0,001704	0,001125	0,003606	0,24	124,4	826,3	149,3	991,6	1436,5	1723,8
14	463873684,0	0,001688	0,000906	0,003367	0,26	135,1	967,7	162,2	1161,2	1682,1	2018,5
15	497300339,6	0,001672	0,001112	0,003554	0,28	164,0	1258,7	196,7	1510,4	2188,0	2625,6
16	530411649,5	0,001659	0,001575	0,004000	0,30	209,9	1718,9	251,9	2062,7	2988,1	3585,7
17	563838305,2	0,001646	0,001552	0,003961	0,32	234,9	2044,6	281,9	2453,5	3554,1	4265,0
18	597580306,7	0,001633	0,001255	0,003650	0,34	243,1	2242,7	291,7	2691,3	3898,7	4678,4
19	631006962,3	0,001622	0,001168	0,003549	0,35	263,6	2567,8	316,3	3081,3	4463,7	5356,4
20	664118272,2	0,001611	0,001813	0,004181	0,37	343,9	3526,1	412,7	4231,3	6129,6	7355,5
21	697229582,1	0,001601	0,003114	0,005470	0,39	495,9	5338,1	595,1	6405,8	9279,5	11135,4
22	730656237,7	0,001592	0,004549	0,006893	0,41	686,4	7742,4	823,7	9290,8	13458,9	16150,6

Κατάσταση A_3:

Πίνακας Ζ.5: Πίνακας Αποτελεσμάτων για την A_3

VS	RE	CF	CW	CT	FN	RT – Clean Hull	EHP– Clean Hull	RT – Foulded Hull	EHP– Foulded Hull	SHP– Clean Hull	SHP– Foulded Hull
knots						kN	kW	kN	kW	kW	kW
8	261810781,7	0,001821	0,000103	0,002799	0,15	40,7	165,0	48,8	198,1	286,9	359,4
9	294772570,7	0,001792	0,000394	0,003053	0,17	56,2	256,9	67,5	308,3	446,7	559,6
10	328362203,4	0,001766	0,000512	0,003139	0,19	71,7	365,1	86,0	438,1	634,7	795,2
11	362265757,9	0,001743	0,000643	0,003241	0,20	90,1	506,3	108,1	607,5	880,1	1102,6
12	395541468,7	0,001723	0,000657	0,003230	0,22	107,1	656,7	128,5	788,0	1141,5	1430,1
13	428189336,0	0,001705	0,000724	0,003275	0,24	127,2	844,7	152,7	1013,7	1468,4	1839,7
14	461465046,8	0,001689	0,000736	0,003265	0,26	147,3	1054,3	176,8	1265,2	1832,8	2296,2
15	494740757,7	0,001674	0,001127	0,003637	0,28	188,6	1447,2	226,3	1736,6	2515,7	3151,7
16	527702546,8	0,001660	0,001740	0,004232	0,30	249,7	2043,5	299,7	2452,2	3552,4	4450,5
17	560978257,6	0,001647	0,001738	0,004214	0,32	281,0	2444,5	337,2	2933,4	4249,3	5323,7
18	594567890,3	0,001634	0,001496	0,003957	0,34	296,4	2732,7	355,7	3279,2	4750,4	5951,4
19	627529679,3	0,001623	0,001265	0,003712	0,35	309,7	3014,0	371,7	3616,8	5239,4	6564,0
20	660177546,6	0,001613	0,001766	0,004199	0,37	387,8	3969,7	465,3	4763,7	6900,8	8645,5
21	692825413,9	0,001603	0,003174	0,005595	0,39	569,0	6113,1	682,8	7335,7	10626,7	13313,5
22	725159359,3	0,001594	0,004839	0,007248	0,41	807,6	9081,7	969,1	10898,1	15787,2	19778,7

Όπως αναφέραμε, ο αναλυτικός υπολογισμός της αντίστασης για την κατάσταση A_3 έχει γίνει στο κεφάλαιο 9 ''ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ''. Εδώ για χάριν ευκολίας αλλά και για να συγκρίνουμε όλες τις μεθόδους μεταξύ τους, παρουσιάζουμε συνοπτικά τα αποτελέσματά του.

Κατάσταση B_3:

Πίνακας Ζ.6: Πίνακας Αποτελεσμάτων για την B_3

VS	RE	CF	CW	CT	FN	RT – Clean Hull	EHP– Clean Hull	RT – Foulded Hull	EHP– Foulded Hull	SHP– Clean Hull	SHP– Foulded Hull
knots						kN	kW	kN	kW	kW	kW
8	261469928,4	0,001821	0,000767	0,003551	0,15	51,4	208,5	61,7	250,2	362,4	454,1
9	295369991,1	0,001791	0,000908	0,003653	0,17	67,5	309,2	81,0	371,1	537,5	673,4
10	327072827,6	0,001767	0,001030	0,003743	0,19	84,8	430,2	101,8	516,3	747,9	937,0
11	361600669,3	0,001744	0,001086	0,003769	0,20	104,4	585,4	125,3	702,5	1017,6	1274,9
12	394245174,1	0,001724	0,000931	0,003588	0,22	118,1	722,2	141,7	866,6	1255,4	1572,8
13	428459126,4	0,001705	0,001062	0,003694	0,24	143,6	954,5	172,4	1145,4	1659,2	2078,7
14	460161962,8	0,001689	0,000860	0,003471	0,26	155,7	1111,1	186,8	1333,3	1931,5	2419,8
15	494375915,0	0,001674	0,000808	0,003399	0,28	175,9	1349,0	211,1	1618,8	2345,1	2938,0
16	527334309,4	0,001660	0,001246	0,003819	0,30	225,0	1839,8	269,9	2207,8	3198,2	4006,9
17	560606593,2	0,001647	0,001344	0,003900	0,32	259,6	2256,9	311,5	2708,2	3923,2	4915,1
18	594192766,4	0,001634	0,001031	0,003570	0,34	267,0	2460,5	320,4	2952,6	4277,1	5358,5
19	627465050,3	0,001623	0,000994	0,003519	0,36	293,4	2855,5	352,1	3426,6	4963,8	6218,9
20	660423444,6	0,001613	0,001384	0,003895	0,37	359,8	3685,5	431,8	4422,6	6406,7	8026,5
21	693381838,9	0,001603	0,002509	0,005007	0,39	509,8	5482,5	611,8	6579,0	9530,4	11940,0
22	726340233,3	0,001593	0,003897	0,006383	0,41	713,2	8034,1	855,8	9641,0	13966,1	17497,2

Κατάσταση C_2:

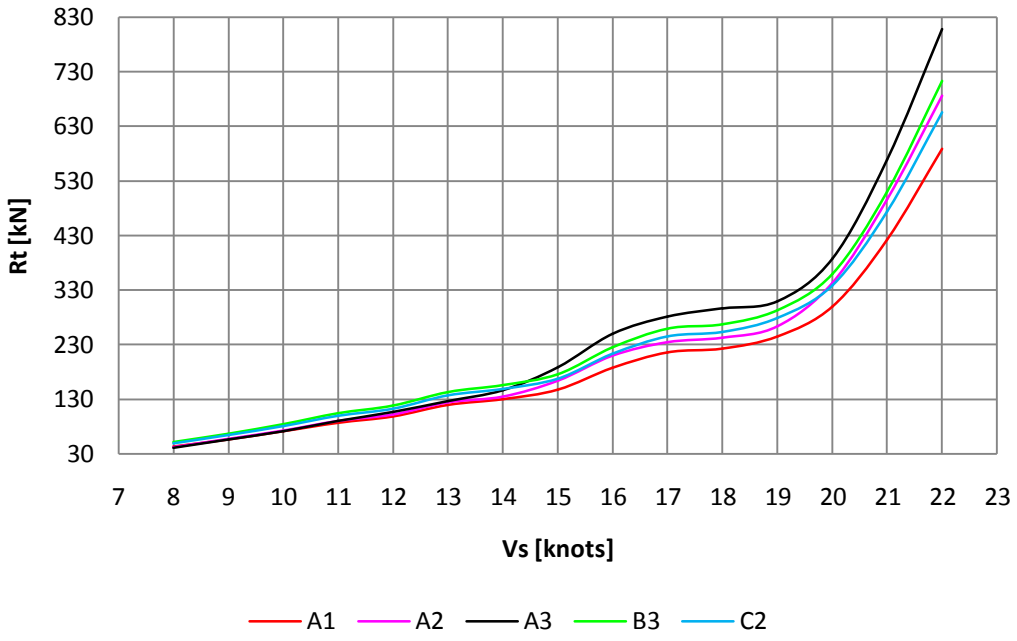
Πίνακας Ζ.7: Πίνακας Αποτελεσμάτων για την C_2

VS	RE	CF	CW	CT	FN	RT – Clean Hull	EHP– Clean Hull	RT – Foulded Hull	EHP– Foulded Hull	SHP– Clean Hull	SHP– Foulded Hull
knots						kN	kW	kN	kW	kW	kW
8	269233959,7	0,001814	0,001383	0,003883	0,15	49,7	201,5	59,6	241,8	350,3	438,8
9	304140643,5	0,001784	0,001510	0,003975	0,16	64,9	297,4	77,9	356,8	516,9	647,6
10	336784857,1	0,001760	0,001620	0,004057	0,18	81,2	412,1	97,5	494,5	716,3	897,4
11	372337961,0	0,001737	0,001665	0,004076	0,20	99,7	559,3	119,7	671,2	972,3	1218,1
12	405951804,7	0,001717	0,001500	0,003888	0,22	113,1	691,5	135,7	829,8	1202,0	1505,9
13	441181698,6	0,001699	0,001621	0,003988	0,24	137,0	910,4	164,4	1092,5	1582,7	1982,8
14	473825912,2	0,001683	0,001412	0,003760	0,26	149,0	1063,4	178,8	1276,1	1848,6	2316,0
15	509055806,1	0,001667	0,001352	0,003682	0,28	168,4	1291,5	202,1	1549,8	2245,0	2812,7
16	542992859,8	0,001654	0,001784	0,004099	0,29	213,3	1744,5	256,0	2093,4	3032,6	3799,3
17	577253123,6	0,001641	0,001875	0,004175	0,31	245,5	2134,9	294,7	2561,9	3711,2	4649,5
18	611836597,4	0,001628	0,001556	0,003842	0,33	253,8	2339,3	304,6	2807,1	4066,5	5094,6
19	646096861,2	0,001617	0,001514	0,003787	0,35	279,0	2715,2	334,8	3258,2	4719,9	5913,2
20	680033914,9	0,001607	0,001900	0,004160	0,37	339,5	3477,7	407,4	4173,3	6045,5	7574,0
21	713970968,7	0,001597	0,003020	0,005268	0,39	474,0	5097,4	568,8	6116,9	8861,0	11101,4
22	747908022,4	0,001587	0,004404	0,006641	0,40	655,7	7386,7	786,9	8864,1	12840,7	16087,3

Συγκεντρωτικά για όλες τις καταστάσεις πλεύσης θα έχουμε:

Πίνακας Ζ.8: Αντίσταση Ρυμούλκησης – Καθαρή Γάστρα

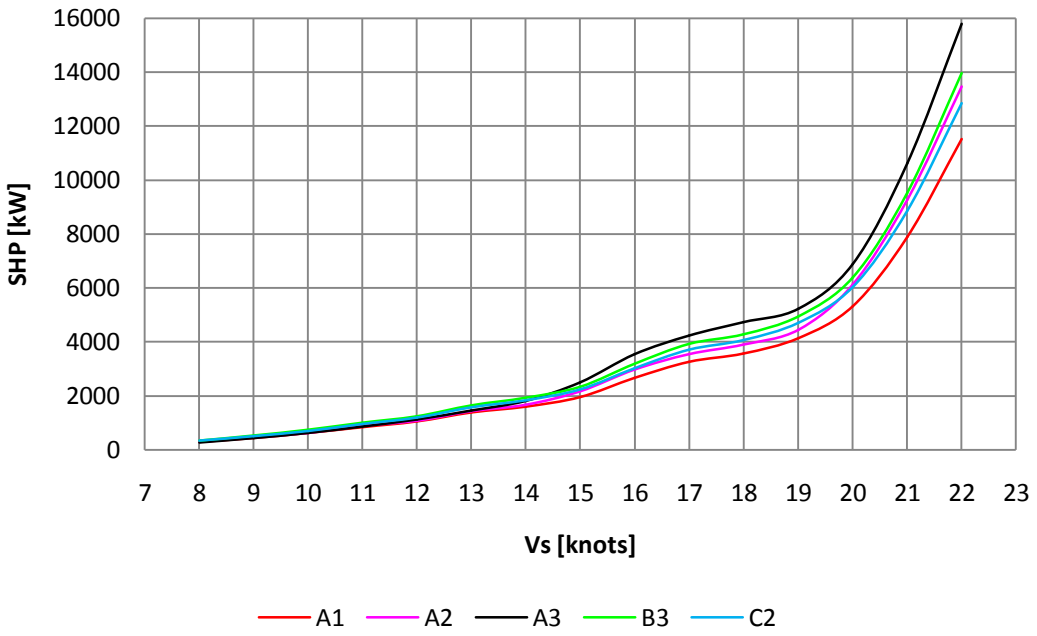
Vs	R_T [kN]				
knots	A_1	A_2	A_3	B_3	C_2
8	43,2	42,9	40,7	51,4	49,7
9	56,6	57,7	56,2	67,5	64,9
10	71,1	72,8	71,7	84,8	81,2
11	87,4	90,5	90,1	104,4	99,7
12	98,9	102,7	107,1	118,1	113,1
13	120,1	124,4	127,2	143,6	137,0
14	130,4	135,1	147,3	155,7	149,0
15	147,4	164,0	188,6	175,9	168,4
16	187,7	209,9	249,7	225,0	213,3
17	216,4	234,9	281,0	259,6	245,5
18	223,0	243,1	296,4	267,0	253,8
19	245,1	263,6	309,7	293,4	279,0
20	299,8	343,9	387,8	359,8	339,5
21	422,5	495,9	569,0	509,8	474,0
22	588,7	686,4	807,6	713,2	655,7



Σχήμα Ζ.1: Καμπύλες αντίστασης καθαρής γάστρας συναρτήσει της ταχύτητας για όλες τις καταστάσεις πλεύσης

Πίνακας Ζ.9: Απαιτούμενη Ισχύς στον Άξονα – Καθαρή Γάστρα

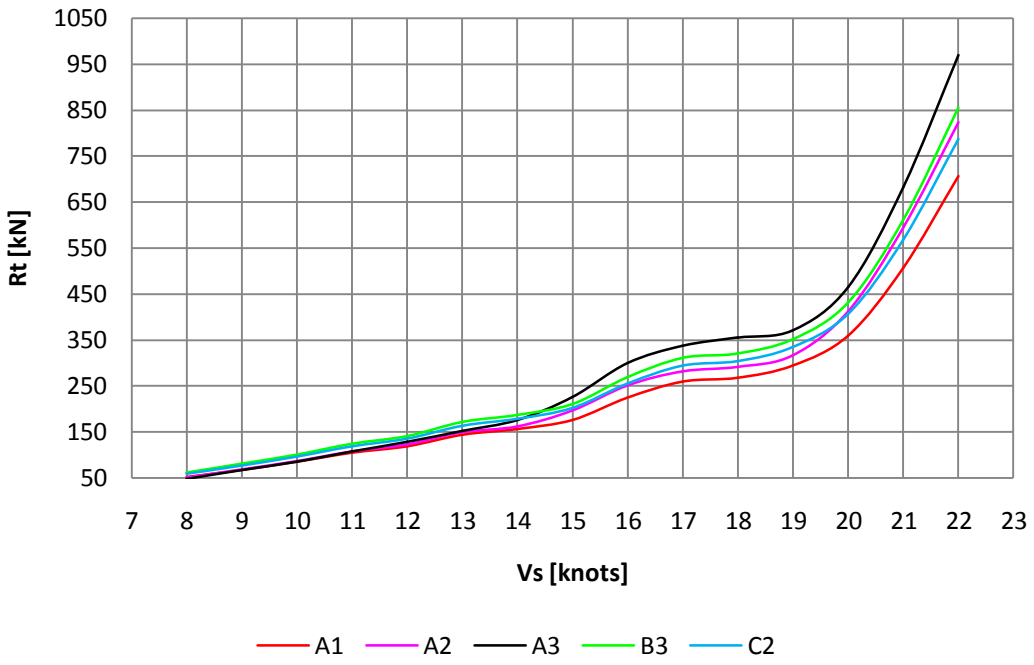
Vs	SHP [kW]				
knots	A_1	A_2	A_3	B_3	C_2
8	304,6	303,8	286,9	362,4	350,3
9	451,0	459,4	446,7	537,5	516,9
10	626,5	643,7	634,7	747,9	716,3
11	851,7	888,6	880,1	1017,6	972,3
12	1051,5	1094,2	1141,5	1255,4	1202,0
13	1387,8	1436,5	1468,4	1659,2	1582,7
14	1617,5	1682,1	1832,8	1931,5	1848,6
15	1964,1	2188,0	2515,7	2345,1	2245,0
16	2669,3	2988,1	3552,4	3198,2	3032,6
17	3271,5	3554,1	4249,3	3923,2	3711,2
18	3573,1	3898,7	4750,4	4277,1	4066,5
19	4146,9	4463,7	5239,4	4963,8	4719,9
20	5337,5	6129,6	6900,8	6406,7	6045,5
21	7897,8	9279,5	10626,7	9530,4	8861,0
22	11527,5	13458,9	15787,2	13966,1	12840,7



Σχήμα Ζ.2: Απαιτούμενη ισχύς στον άξονα για καθαρή γάστρα συναρτήσει της ταχύτητας για όλες τις καταστάσεις πλεύσης

Πίνακας Ζ.10: Αντίσταση Ρυμούλκησης – Ρυπασμένη Γάστρα

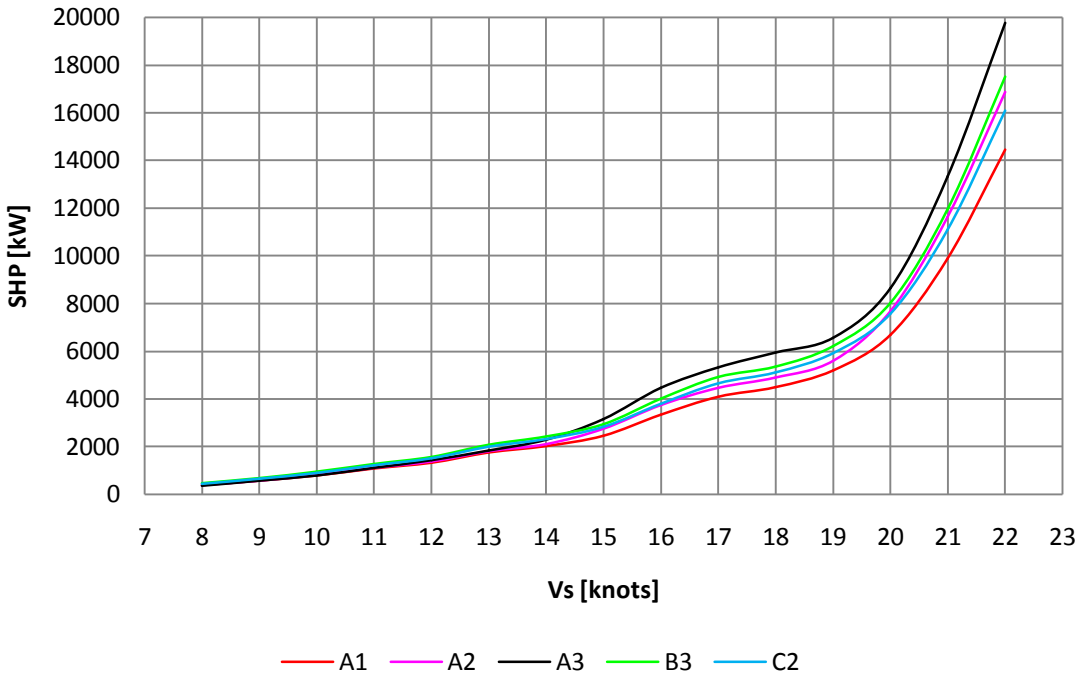
Vs	R_T [kN]				
knots	A_1	A_2	A_3	B_3	C_2
8	51,9	51,5	48,8	61,7	59,6
9	68,0	69,3	67,5	81,0	77,9
10	85,3	87,3	86,0	101,8	97,5
11	104,8	108,6	108,1	125,3	119,7
12	118,7	123,2	128,5	141,7	135,7
13	144,2	149,3	152,7	172,4	164,4
14	156,5	162,2	176,8	186,8	178,8
15	176,8	196,7	226,3	211,1	202,1
16	225,3	251,9	299,7	269,9	256,0
17	259,7	281,9	337,2	311,5	294,7
18	267,7	291,7	355,7	320,4	304,6
19	294,2	316,3	371,7	352,1	334,8
20	359,7	412,7	465,3	431,8	407,4
21	507,0	595,1	682,8	611,8	568,8
22	706,4	823,7	969,1	855,8	786,9



Σχήμα Ζ.3: Καμπύλες αντίστασης ρυπασμένης γάστρας συναρτήσει της ταχύτητας για όλες τις καταστάσεις πλεύσης

Πίνακας Ζ.11: Απαιτούμενη Ισχύς στον Άξονα – Ρυπασμένη Γάστρα

Vs	SHP [kW]				
knots	A_1	A_2	A_3	B_3	C_2
8	381,7	380,7	359,4	454,1	438,8
9	565,0	575,5	559,6	673,4	647,6
10	784,9	806,5	795,2	937,0	897,4
11	1067,1	1113,2	1102,6	1274,9	1218,1
12	1317,4	1370,8	1430,1	1572,8	1505,9
13	1738,7	1799,7	1839,7	2078,7	1982,8
14	2026,5	2107,4	2296,2	2419,8	2316,0
15	2460,6	2741,3	3151,7	2938,0	2812,7
16	3344,1	3743,5	4450,5	4006,9	3799,3
17	4098,6	4452,7	5323,7	4915,1	4649,5
18	4476,5	4884,4	5951,4	5358,5	5094,6
19	5195,4	5592,2	6564,0	6218,9	5913,2
20	6687,0	7679,4	8645,5	8026,5	7574,0
21	9894,6	11625,7	13313,5	11940,0	11101,4
22	14442,1	16861,7	19778,7	17497,2	16087,3



Σχήμα Ζ.4: Απαιτούμενη ισχύς στον άξονα για ρυπασμένη γάστρα συναρτήσει της ταχύτητας για όλες τις καταστάσεις πλεύσης